



ÉLÉMENS
DE GÉOLOGIE
ET
D'HYDROGRAPHIE,

OU

RÉSUMÉ DES NOTIONS ACQUISES SUR LES GRANDES LOIS DE LA NATURE;

FAISANT SUITE ET SERVANT DE COMPLÉMENT AUX ÉLÉMENS DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET DE MÉTÉOROLOGIE;

PAR **H. LECOQ**,

Professeur d'Histoire naturelle de la ville de Clermont-Ferrand, Conservateur du Cabinet de minéralogie de la même ville, l'un des Auteurs des Vues et Coupes géologiques du département du Puy-de-Dôme, Rédacteur en chef des Annales scientifiques, littéraires et industrielles de l'Auvergne, etc.

AVEC HUIT PLANCHES GRAVÉES.

Tome Premier.

A PARIS,
CHEZ J.-B. BAILLIÈRE,
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE,
RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 13 BIS;
LONDRES, MÊME MAISON, 219, REGENT-STREET.
1838





ÉLÉMENS

DE GÉOLOGIE

ET

D'HYDROGRAPHIE.

I.

OUVRAGES DE M. LECOQ CHEZ LE MÊME LIBRAIRE.

ÉLÉMENS DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET DE MÉTÉOROLOGIE, ou Résumé des notions acquises sur les grands phénomènes et les grandes lois de la nature; servant d'introduction à l'Étude de la Géologie, avec planches gravées, Paris, 1836, in-8, 9 fr.

DICTIONNAIRE RAISONNÉ DES TERMES DE BOTANIQUE ET DES FAMILLES NATURELLES, contenant l'étymologie et la description détaillée de tous les organes, leur synonymie et la définition des adjectifs qui servent à les décrire; suivi d'un vocabulaire des termes grecs et latins les plus généralement employés dans la Glossologie botanique. *Paris*, 1831. 1 fort vol. in-8, 9 fr.

PRINCIPES ÉLÉMENTAIRES DE BOTANIQUE et de Physiologie végétale. 1 vol. in-8, 5 fr.

DE LA PRÉPARATION DES HERBIERS pour l'étude de la Botanique; in-8, 2 fr. 50 c.

Idem, avec exemples desséchés en guise de figures, 4 fr. 50 c.

RECHERCHES sur la reproduction des végétaux; br. in-4, avec une planche, 2 fr.

DE LA MNÉMOTECHNIE appliquée aux descriptions de lieux; br. in-8, 1 fr. 25 c.

RECHERCHES sur les Engrais salins. Mémoire couronné par l'Académie du Gard; in-8, 2 fr.

ÉLÉMENS DE MINÉRALOGIE appliquée aux sciences chimiques; par H. Lecoq et Girardin. 2 vol. in-8, 14 fr.

Ouvrages du même Auteur sur l'Auvergne.

DESCRIPTION PITTORESQUE DE L'AUVERGNE, publiée par livraisons indépendantes, avec lithographies. Cinq livraisons ont paru.

1re. L'INDICATEUR D'AUVERGNE, ou Guide du Voyageur aux lieux et monumens remarquables situés dans les départemens du Puy-de-Dôme, du Cantal et de la Haute-Loire, brochure in-8, 75 c.

2e. LE MONT-DORE ET SES ENVIRONS, avec 16 vues, 8 fr.

3e. VICHY ET SES ENVIRONS, etc., avec 8 vues, 5 fr.

4e. ITINÉRAIRE DE CLERMONT AU PUY DE DÔME, ou Description de cette montagne et de la vallée de Royat et Fontanat; 2e édition in-8, avec 4 vues, 2 fr.

5e. CHAUDESAIGUES ET SES EAUX THERMALES, 90 c.

PROMENADES aux environs de Clermont et du Mont-Dore, ou Souvenirs du Congrès géologique de 1833; br. in-8, 1 fr. 50 c.

DESCRIPTION du Volcan de Pariou; br. in-8, 2 fr.

VUES ET COUPES des principales formations géologiques du département du Puy-de-Dôme; in-8, avec atlas de 31 planches coloriées, et 200 échantillons de roches et minéraux choisis avec le plus grand soin; par H. Lecoq et Bouillet, 280 fr.

Idem, le texte et les planches seuls, 40 fr.

COUP D'OEIL géologique sur le Mont-Dore, avec planches coloriées et 50 échantillons de roches en une boîte plate et portative; par H. Lecoq et Bouillet, 40 fr.

Idem, le texte et les planches seuls, 5 fr.

ITINÉRAIRE du département du Puy-de-Dôme, pour tout ce qu'il y a d'intéressant à visiter, avec une carte coloriée; par H. Lecoq et Bouillet, 6 fr.

ANNALES SCIENTIFIQUES, industrielles et littéraires de l'Auvergne, rédigées par H. Lecoq; 10 vol. in-8, 1828—1837.

Frontispice du Tome I.er

Fig. 58.

Le Coq del.t

Ambroise Tardieu sculps.t

Êtres organisés de la Période jurassique.

ÉLÉMENS
DE GÉOLOGIE
ET
D'HYDROGRAPHIE,
OU

RÉSUMÉ DES NOTIONS ACQUISES SUR LES GRANDES LOIS DE LA NATURE;

FAISANT SUITE ET SERVANT DE COMPLÉMENT AUX ÉLÉMENS DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET DE MÉTÉOROLOGIE;

PAR H. LECOQ,

Professeur d'Histoire naturelle de la ville de Clermont-Ferrand, Conservateur du Cabinet de minéralogie de la même ville, l'un des Auteurs des Vues et Coupes géologiques du département du Puy-de-Dôme, Rédacteur en chef des Annales scientifiques, littéraires et industrielles de l'Auvergne, etc.

AVEC HUIT PLANCHES GRAVÉES.

Tome Premier.



A PARIS,
CHEZ J.-B. BAILLIÈRE,
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE,
RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 13 BIS;
LONDRES, MÊME MAISON, 219 REGENT-STREET.

1838.

INTRODUCTION.

Les Elémens de Géologie et d'Hydrographie que je publie aujourd'hui sont la suite et le complément des *Élémens de Géographie physique et de Météorologie* qui ont paru en 1836. Ces deux ouvrages, quoique indépendans l'un de l'autre, peuvent être réunis, et forment ensemble un cours de Géographie physique, que je me suis efforcé de rendre aussi complet que peut le permettre l'état actuel de nos connaissances sur un sujet si vaste et si important.

Aucun ouvrage ne contient encore, dans un cadre convenablement étendu, l'ensemble des notions acquises sur l'histoire de la terre et sur les grands phénomènes de la nature; et pourtant c'est par cette étude qu'il conviendrait de commencer presque toutes les autres. Parmi les connaissances humaines, il n'en est pas qui soient plus capables de développer notre esprit, d'exercer notre jugement, de frapper notre intelligence, tout en nous rappelant à chaque instant la puissance infinie de la divinité. Cette étude nous montre la terre sous un point de vue tout différent de celui sous lequel nous avons l'habitude de l'en-

visager; elle nous rend religieux, en élevant notre esprit à des considérations d'un ordre supérieur. Elle n'est point, comme on l'a dit quelquefois, le *roman* de la nature, mais son *histoire*, avec ses dates, ses événemens, ses révolutions, écrits en caractères plus saillans et plus durables que ceux qui retracent des circonstances analogues dans les annales des peuples. Ce sont ces caractères que j'ai essayé d'expliquer dans le cours de cet ouvrage, auquel j'ai consacré de longues années de travail. C'est après avoir beaucoup lu et beaucoup médité, que j'ai osé l'entreprendre, sachant très-bien qu'il faut, pour traiter un tel sujet, des connaissances à la fois profondes et variées, que je suis loin encore d'avoir acquises. Je ne regretterai pas le temps que j'ai passé à la rédaction de ces deux volumes, si leur lecture peut inspirer à quelques personnes le désir d'étudier les sciences naturelles, et surtout la Géologie, qui est le résumé de toutes les autres.

Pénétré de cette pensée, que beaucoup de personnes, et notamment les gens du monde et les jeunes gens, n'osent souvent aborder les sciences à cause des termes nombreux et de l'appareil pédantesque dont on les entoure, j'ai éloigné autant que j'ai pu les dénominations scientifiques et les difficultés du langage. Un vocabulaire, placé

à la fin de l'ouvrage, explique celles dont je n'ai pu éviter l'emploi.

Je me suis efforcé d'employer un style clair et concis, que j'ai tâché de mettre à la portée de toutes les intelligences, en descendant dans de nombreux détails que des personnes instruites me reprocheront peut-être, mais que j'ai crues nécessaires pour celles qui commencent l'étude des sciences, ou qui étudient seules, loin des grands foyers d'instruction et privées des ressources des bibliothèques.

Celles-là me sauront gré sans doute d'être entré dans des explications dont elles pourront souvent vérifier elles-mêmes l'exactitude.

Un ouvrage élémentaire offre toujours de grandes difficultés, et il y a peut-être de la témérité à entreprendre aujourd'hui un travail de ce genre sur la Géologie. Cette étude, plus cultivée que toutes les autres, est actuellement dans un état de transition qu'il est difficile de saisir, et ses bases n'ont pas encore acquis toute la stabilité qu'exigent les sciences exactes.

J'ai divisé ces élémens en deux parties : l'*Hydrographie* et la *Géologie*.

Dans la première, je me suis occupé des eaux d'une manière générale. Après avoir étudié, dans la Géographie physique, les différens phénomènes produits par les vapeurs qui se groupent et

se condensent pour former les nuages, la pluie et tous les météores aqueux, je reprends l'eau à son arrivée sur la terre et à sa sortie du sol, sous le nom de *sources* et de *fontaines*. Puis viennen ensuite les cours d'eau, leurs chutes ou cascades, les marais, les lacs et leurs divers phénomènes. Enfin, comme les eaux viennent toutes se rendre dans l'Océan, leur réservoir commun, l'étude des mers suit naturellement celle des fleuves qui les alimentent. Cette partie de l'ouvrage est terminée par l'histoire des glaces, des glaciers et des glaces polaires, ou de l'eau solide considérée sous ses divers états.

La seconde partie, plus importante que la première, est entièrement consacrée à la Géologie. Après avoir long-temps réfléchi à l'ordre le plus convenable à la distribution des matières traitées dans cette partie, j'ai cru qu'il fallait adopter un ordre différent de celui qui a été suivi dans la plupart des ouvrages de ce genre.

En effet, la Géologie ne fut pendant long-temps qu'un assemblage d'hypothèses plus ou moins ingénieuses sous lesquelles on cherchait à faire plier le petit nombre de faits observés. Chacun se croyait en droit de publier une théorie de la terre, et quand on reconnut l'incompatibilité de ces divers systèmes avec les lois immuables de la nature, cette science perdit de son crédit et fut

reléguée près de l'astrologie, comme un des nombreux résultats de l'égarement de notre esprit.

Alors commença une seconde période d'études toutes différentes des premières et beaucoup plus rationnelles, qui auraient dû précéder les brillantes théories de l'époque antérieure. Alors on observait les faits, on analysait les roches, on recherchait la superposition réelle des terrains, on notait l'inclinaison et la direction de leurs couches, et cette science toute positive, créée, en quelque sorte, par les mineurs allemands, devint la véritable Géologie, qui ne fut plus la science de la terre et de sa création, mais celle des roches et des terrains.

En cela, comme en beaucoup d'autres choses, on était passé d'une extrêmité à l'autre, sans s'arrêter au terme moyen. Les ouvrages de Géologie publiés pendant ces deux périodes si opposées, se ressentent nécessairement des différences qui les caractérisent : dans les uns, des hypothèses; dans les autres, des faits sans théorie et sans liaison. Ce n'est que dans ces derniers temps que l'on a senti toutes les difficultés que l'on éprouve à apprendre une science dont tous les faits sont épars et indépendans, et l'on est revenu graduellement à une méthode moyenne qui est aussi celle que nous avons adoptée.

Il y avait encore un choix à faire dans la ma-

nière dont les faits, liés par des théories, devaient être présentés. Il semble naturel d'offrir les faits d'abord et la théorie ensuite, ou, ce qui revient au même, de s'occuper en premier lieu des résultats et ensuite des causes. J'ai cru cependant que la Géologie était assez avancée maintenant pour suivre une marche opposée, car les mêmes causes, légèrement modifiées, produisent quelquefois des résultats tout-à-fait différens, que l'on peut, en quelque sorte, prévoir par une étude préliminaire des forces qui leur donnent naissance; et si cette marche est mauvaise, comme nous l'avons reconnu tout à l'heure, pour faire des progrès rapides dans une science qu'il faut créer, on est obligé de convenir qu'elle est la meilleure et la plus courte pour communiquer des faits acquis et pour apprendre une science toute faite.

J'ai donc cru devoir donner beaucoup plus d'importance aux causes qu'aux effets, et j'ai trouvé dans cette manière d'envisager la Géologie un autre avantage : c'est de rendre cette science beaucoup plus attrayante et plus facile, considération tout-à-fait secondaire dans la plupart des cas, mais importante pour un livre élémentaire destiné à propager une science et à répandre le goût de son étude.

Après quelques considérations générales sur la

forme extérieure du globe, sur les vallées et les montagnes, sur les roches et les débris organiques qu'elles renferment, sur les cavernes et les courans qui les traversent, j'ai abordé immédiatement la grande question des forces actuellement agissantes sur notre planète. Ces forces sont de deux sortes : les unes, extérieures, ont pour cause première la chaleur solaire, qui produit les vents, l'évaporation et par suite les pluies et les cours d'eau; les autres, intérieures, dépendent du feu central inhérent au globe que nous habitons, source incessante de perpétuels changemens et de continuelles actions.

Ces deux forces correspondent, comme on le voit, aux actions *neptuniennes* et *vulcaniques*, adoptées de tout temps, et qui ont inégalement contribué à la formation de la croûte du globe.

Dans l'étude de ces forces, j'ai toujours examiné en premier lieu leur puissance actuelle; et remontant de cette époque contemporaine vers les temps antérieurs, j'ai cherché à prouver que tous les grands phénomènes qui se sont passés sur la terre sont dus à ces mêmes forces, dont l'intensité était alors en rapport avec l'énergie des causes qui les ont produites. J'ai donc successivement passé en revue l'action mécanique de l'air et celle des cours d'eau, qui arrachent aux continens de nombreux débris qu'ils dépo-

sent ailleurs, créant ainsi de nouveaux terrains aux dépens de ceux qu'ils détruisent, comblant des bassins ou élevant des deltas à l'embouchure des fleuves. J'ai tâché d'expliquer l'action lente, mais séculaire, des flots de l'Océan qui corrodent leurs rivages et abandonnent plus loin de vastes plages de galets, ainsi que celle des cours d'eau souterrains, qui formèrent autrefois les cavernes à ossemens.

A ces causes puissantes de destructions et de créations, viennent se joindre de nombreuses actions chimiques, dont les unes, généralement dues à l'eau chargée de différens principes, sont sans cesse occupées à détruire, tandis que d'autres, comme la nitrification, la cristallisation aqueuse, le dépôt des concrétions et des stalactites, les remplacemens ou épigénies, ajoutent continuellement aux terrains préexistans.

Les plantes et les animaux, en parcourant les différentes phases de leur existence, offrent aussi des phénomènes qui ont une influence marquée sur la formation des terrains, car nous voyons les végétaux former des couches puissantes de charbon de terre, de tourbe et de lignites, et les polypiers saxigènes élever des îles tout entières qu'ils entourent de dangereux rescifs.

Les forces qui dépendent de la chaleur centrale et qui paraissent bien plus puissantes que les pré-

cédentes, occupent presque entièrement le dernier volume des Elémens de Géologie. Il était naturel de s'occuper d'abord de cette chaleur centrale et d'en étudier ensuite les nombreux effets. J'ai commencé par les eaux minérales, les geisers, les lagonis et les dégagemens de gaz, restes de l'ancienne puissance qu'exerçait sur la croûte peu épaisse de la terre son noyau encore incandescent. Vient ensuite l'histoire des tremblemens de terre, puis l'ensemble des phénomènes volcaniques considérés dans toute leur étendue. L'importante question des soulèvemens est traitée immédiatement après celle des volcans et des tremblemens de terre. Ces grands mouvemens intérieurs n'ont pu s'opérer sans que des actions chimiques d'un ordre tout-à-fait différent des premières n'aient aussi exercé une grande influence dans la composition des terrains. Tels sont les actions de contact et la dolomisation, les phénomènes de refroidissement et de liquation, l'apparition des filons et le dépôt des minerais dans les fractures des roches.

C'est seulement après l'examen détaillé de ces forces agissantes que j'ai placé l'histoire des terrains, commençant par le terrain primaire, qui forme la base de tous, et passant successivement aux terrains de sédiment qui l'ont recouvert, aux roches d'épanchement qui l'ont percé.

Enfin, j'ai terminé ce travail par des considérations générales sur la vie organique, sur le développement successif des animaux et des plantes, et sur les relations qui existent entre les différentes périodes géologiques et les phases successives de l'organisation.

On remarquera que, dans tout le cours de cet ouvrage, j'ai tâché de lier la plupart des faits à quelques vues d'ensemble qui aideront certainement à les retenir. J'ai présenté, chaque fois que cela m'a paru utile, des considérations générales sur les principaux sujets, afin de rappeler les observations précédentes et de réunir en un seul faisceau les observations nombreuses qui constituent la science de la terre.

Quant aux idées émises dans ces divers résumés, je n'y attache aucune importance; je crois cependant qu'elles sont basées sur les faits, et que, sous ce rapport, elles méritent une certaine confiance; mais d'autres faits viendront en détruire une partie, ou du moins les modifier, en sorte qu'on doit les regarder comme un lien nécessaire pour maintenir le faisceau de nos connaissances, et qui n'est peut-être pas celui qui atteint le mieux son but.

Je répéterai ici ce que j'ai dit ailleurs, et ce que l'on doit dire quand on publie un livre élémentaire : c'est que les faits ne m'appartiennent

pas, et que je les ai puisés partout où j'ai pu les rencontrer, choisissant autant que possible ceux qui ont été rapportés par des géologues consciencieux, qui cherchent la vérité partout, et qui préfèrent l'avancement de la science à des considérations d'un intérêt privé.

Clermont-Ferrand, le 15 octobre 1837.

H. LECOQ.

ÉLÉMENS
DE GÉOLOGIE
ET
D'HYDROGRAPHIE.

PREMIÈRE PARTIE.

DE L'HYDROGRAPHIE.

CHAPITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Le globe que nous habitons, considéré d'une manière isolée et indépendante de l'atmosphère qui l'environne, nous offre encore des phénomènes du plus haut intérêt, dont l'examen formera la matière de ce volume ; mais avant de pénétrer dans l'intérieur de la terre, avant de chercher à démontrer les grandes lois qui ont présidé à sa structure et aux nombreuses altérations qu'elle a subies, jetons d'abord un coup-d'œil sur

sa surface, et examinons les grands traits qui la caractérisent.

Cette surface est, en grande partie, recouverte d'une couche d'eau très-considérable, du milieu de laquelle s'élèvent des terres plus ou moins étendues. Si l'espace émergé est très-grand, on lui donne le nom de *continent;* s'il l'est beaucoup moins, c'est une *île;* en sorte que toutes les parties solides de la terre qui se montrent au-dessus de la vaste couche d'eau qui l'enveloppe, reçoivent l'une ou l'autre de ces deux dénominations, et le bain immense qui les environne, celui de *mer*.

Le rapport des parties *émergées* à celles qui sont submergées est à peu près comme 2 est à 5. Les continens et les îles d'un côté, les mers de l'autre, ont entre eux de nombreux rapports de position et empiètent plus ou moins les uns sur les autres. Dans tous les cas, la ligne sinueuse qui les réunit a reçu le nom de *côtes* ou *rivages*, bien qu'on la désigne sous le titre de *plages* quand les terres descendent en pente douce sous les eaux, et de *falaises* quand elles s'élèvent brusquement au-dessus d'elles.

Tantôt des parties de continent s'avancent dans la mer et y forment des *presqu'îles* ou *péninsules* que l'on appelle *caps*, ou *promontoires* s'ils ont peu d'étendue ou s'ils offrent une falaise élevée au-dessus des flots, tandis que la partie qui rattache la péninsule au continent est un *isthme*. D'autres fois, ce sont les mers qui empiètent sur les continens et qui forment de vastes bassins, tout entourés de terres, et que l'on nomme pour cette raison *méditerranées* (mers). Elles ne communiquent alors à la grande masse d'eau que par un canal retréci que l'on nomme *détroit*. Si l'ouverture est plus large, et par conséquent le bassin moins fermé, moins profond, c'est un *golfe* s'il appartient à un

continent, ou une *baie*, s'il est situé dans une île. Les marins, qui ont bien plus d'intérêt que le géographe à connaître les lieux où les vaisseaux peuvent se trouver abrités, distinguent encore sous les noms de *port*, *anse*, *rade* les divers festons ou découpures des rivages. L'eau, cherchant toujours à se mettre en équilibre, il en résulte que la surface des mers est sensiblement plane, et la moyenne élévation de l'eau sur les rivages forme l'horizon ou la ligne d'où partent les géomètres pour mesurer les hauteurs et les profondeurs sur la petite échelle verticale que Dieu nous a permis de connaître. Ainsi, quand on veut indiquer la hauteur d'une île, l'élévation d'une montagne, la mesure a pour base le niveau de la mer comme celle qui indique la profondeur des eaux ou la dépression du sol.

Les îles, que l'on peut considérer comme de petits continens dispersés au milieu de la mer, ont quelquefois une très-grande étendue et une forte élévation; d'autres fois, elles sont très-petites, atteignent à peine la surface de l'eau ou restent même cachées dans les flots; ce sont alors des *écueils* ou des *bancs*, dénomination distincte pour les marins, qui donnent généralement le premier de ces noms à des rochers durs sur lesquels les vaisseaux peuvent se briser, tandis qu'ils réservent celui de banc pour les amas de sables ou les matières peu cohérentes sur lesquelles ils viennent parfois échouer. Enfin, quand les îles se groupent et se réunissent de différentes manières, on donne à l'ensemble le nom d'*archipel*. On voit de suite qu'un archipel est l'indice d'une grande étendue de terre submergée, ou d'un groupe de montagnes sous-marines dont les sommets viennent former des îles.

Revenons maintenant à la partie émergée du globe,

c'est-à-dire à la surface des îles et des continens, et voyons quels sont les phénomènes hydrographiques qui s'y passent. Une surface aussi étendue que celle des mers, entièrement couverte d'eau, et continuellement exposée à l'ardeur du soleil, doit nécessairement donner lieu à une grande évaporation; et nous avons vu, en nous occupant de météorologie, comment la vapeur d'eau élevée dans l'atmosphère s'y condensait et donnait naissance à une foule de météores aqueux qui, tous, ramenaient sur la terre l'eau qui s'en était éloignée.

L'eau qui retombe à la surface des mers se confond à l'instant avec celle qui remplit leur bassin; mais il n'en est pas de même de celle qui descend sur les parties émergées.

Si des montagnes s'élèvent jusque dans les nues, si des nuages s'abaissent jusqu'au niveau des plaines, les vapeurs sont bientôt absorbées et disparaissent; si la neige tombe sur le sol, elle se fond et se transforme en eau, ou bien elle reste congelée sur le sommet des montagnes, ou autour des pôles de la terre, et y forme d'immenses glaciers; mais enfin la partie inférieure de la glace fond, tandis que la partie supérieure se charge de nouvelles couches de neige.

Le plus souvent l'eau tombe sous forme de pluie et se répand sur toutes les parties des continens. Quelle que soit la manière dont cette eau revient sur la terre, elle se divise de suite en trois parties, dont les proportions relatives varient singulièrement par une foule de circonstances qui tiennent à la nature du sol, à la température de l'air, et à l'état particulier de l'eau qui se précipite sur la terre.

Une partie de cette eau s'évapore sur-le-champ.

Une autre portion glisse à la surface du terrain, ruis-

selle en suivant les pentes, et prend le nom d'*eaux sauvages :* ce sont celles que l'on voit couler sur le sol après une pluie abondante.

La dernière partie s'infiltre dans les terres et les rochers qui composent l'extérieur de notre planète. Elle en suit les fissures, pénètre à des profondeurs variables, filtre à travers une foule de matériaux divers; ses filets, se réunissant, se rassemblent entre des couches de terrain, et viennent ensuite jaillir dans des lieux dont le niveau est inférieur à ceux d'où elles sont parties; telle est l'origine des *sources*. Le liquide qui s'en épanche, recevant au besoin les eaux sauvages, donne naissance aux *ruisseaux* qui, réunis, forment les *rivières* et les *fleuves*. Ces trois dénominations, qu'il est impossible de définir nettement, se confondent sous le nom général de *cours d'eau*. Le point de jonction de l'eau et du sol se nomme *rive*, rarement *rivage*, et jamais *côte*, et l'on distingue toujours dans un cours d'eau la *rive droite* et la *rive gauche*, que l'on détermine facilement en supposant que l'on est à la source et que l'on regarde couler l'eau. Ces rives peuvent être escarpées comme les falaises, ce sont alors des *berges*, ou bien s'adoucir lentement comme les plages; et si dans ce cas on leur donne un nom particulier, c'est celui de *talus*. *Le lit* d'une rivière ou d'un fleuve est l'espace que cachent ordinairement ses eaux. Le cours des rivières, des fleuves et des ruisseaux est souvent sinueux; leur vitesse est plus ou moins grande suivant la pente du sol, et parfois on les voit couler dans des ravins où ils forment des *torrens*, ou franchir des différences de niveau plus ou moins marquées. De là les *cascades*, les *rapides*, les *sauts*, les *cataractes*, qui ne sont que des modifications de notre langue pour exprimer quelques différences peu importantes en géographie physique;

ainsi on appelle *cascade* la chute d'un ruisseau ou d'une rivière; *saut*, celle d'un fleuve ou d'une masse d'eau considérable; *cataractes*, une série de chutes peu élevées et rapprochées; et *rapide*, un abaissement successif dans le lit d'une rivière ou d'un fleuve, qui détermine un cours rapide et saccadé, sans pourtant que l'eau abandonne le rocher sur lequel elle s'épanche en glissant.

Les cours d'eau, en arrivant dans des lieux qui sont horizontaux, peuvent s'y étendre et donner naissance à des *marais*, quoique ceux-ci résultent plus souvent des suintemens qui s'échappent du sol, de la fonte des neiges dans les montagnes, ou de la stagnation de l'eau des sources.

Si le sol, au lieu de présenter une surface horizontale, offre une dépression, l'eau s'y rassemble, s'y accumule, et y produit un *lac*, réservoir plus ou moins étendu, rempli par des eaux douces ou des eaux salées.

Les cours d'eau sont très-nombreux sur la plupart des continens et sur toutes les îles d'une certaine étendue. Ils occupent ordinairement le fond de bassins particuliers qui s'ouvrent les uns dans les autres. Ainsi toute l'eau qui tombe sur un certain espace, se rend dans un ruisseau qui occupe la partie la plus basse de cet espace; près de là celle qui tombe sur le sol s'écoule dans un autre ruisseau, et la ligne nommée *arête*, qui sert de partage à ces eaux, est la limite de deux petits bassins hydrographiques. Un nombre plus ou moins grand de ces petits bassins vient s'ouvrir dans celui d'une rivière qui les réunit tous; et enfin, plusieurs rivières se réunissent encore, et vont, sous le nom de *fleuves*, couvrir de vastes plaines qu'elles submergent, et font ainsi la *mer*, immense bassin qui les réunit

toutes. Le point de départ de l'eau est la *source*, son arrivée dans la mer l'*embouchure* du fleuve, chaque jonction de cours d'eau est un *confluent*.

On voit par ce qui précède que les parties émergées du globe offrent quelques points inondés, comme les grands lacs, les méditerranées, et de longs courans d'eau qui sillonnent leur surface ; et comme par une sorte de compensation, les parties submergées présentent des îles et des presqu'îles, qui établissent ainsi un bien plus grand nombre de points de contact entre la terre et l'eau.

Cette dernière forme donc autour du globe une couche percée çà et là par les îles et les continens. Le bassin des mers et les grands lacs en contiennent en réserve la majeure partie, tandis que l'autre est mise en circulation par la chaleur qui s'y combine, et l'élève en vapeur dans les hautes régions où elle l'abandonne, et lui permet de redescendre, travail immense de la nature, invisible à nos yeux, auquel la multitude n'a peut-être jamais songé, et d'où dépend cependant notre prospérité agricole et par suite notre existence (1).

---

(1) Nous ferons ici une remarque de Leslie qui, sans rien ajouter à nos connaissances, encore si imparfaites, sur les causes de l'évaporation, nous signale dans ce phénomène un développement de force mécanique dont l'immensité frappe l'imagination, surtout lorsqu'on réfléchit à la manière silencieuse avec laquelle la nature l'opère.

Supposez que l'eau enlevée annuellement au globe par voie d'évaporation soit égale, en chaque climat, à la quantité de pluie qui y tombe, cette eau évaporée se dissémine dans l'atmosphère à toutes les hauteurs. On opérera une sorte de compensation entre les extrêmes de ces mouvemens ascensionnels, en concevant par la pensée que l'eau évaporée s'est élevée ou s'est arrêtée

Laissons maintenant les continens, pour nous occuper seulement de l'eau qui baigne leurs rivages ou qui sillonne leur surface.

Nous allons l'étudier sous ses différens gisemens, car on la rencontre sous trois états dans la nature :

1° Sous forme de gaz ou de vapeurs; 2° à l'état liquide; 3° en masses solides et cristallisées.

A l'état de vapeurs, nous avons étudié ses caractères dans l'*aérographie*; nous avons vu comment elle pouvait passer dans l'air de l'état gazeux à l'état liquide et à l'état solide. Nous n'avons plus maintenant qu'à nous occuper de l'eau liquide et de l'eau solide à la surface du globe; nous commencerons par l'examen de ses caractères.

PROPRIÉTÉ DE L'EAU.

L'eau à la température et à la pression ordinaire, et lorsqu'elle est pure, ce qui arrive rarement dans la nature, est un liquide inodore, insipide, incolore, se réduisant en vapeurs à toute espèce de température, mais bouillant à celle de 100 d. centigrades; elle

---

tout entière à une certaine hauteur moyenne; l'évaporation annuelle se trouvera ainsi représentée dans ses effets mécaniques par une masse d'eau connue élevée verticalement d'un nombre également connu de mètres. Mais le travail de cette nature, qu'un homme peut faire dans l'année, a été déterminé. Eh bien! la comparaison des deux résultats montre que l'évaporation représente le travail de 80 millions de millions d'hommes. Supposez que 800 millions soit la population du globe, que la moitié seulement de ce nombre d'individus puisse travailler, et la force employée par la nature dans la formation des nuages sera égale à deux cent mille fois le travail dont l'espèce humaine toute entière est capable. (Arago, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.)

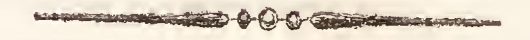
se solidifie au-dessous de *o*, et cristallise alors, en affectant une forme que l'on rapporte au prisme hexaèdre régulier ou au système rhomboïbal. Un centimètre cube d'eau, au maximum de densité, pèse 1 gramme; mais il est à remarquer que ce maximum a lieu à 4 degrés au-dessus de *o*, et que l'eau ne suit pas la règle générale par laquelle les corps occupent d'autant plus d'espace qu'ils renferment plus de chaleur. L'eau à l'état de glace tient donc plus de place qu'à l'état liquide. On en a des exemples journaliers par la rupture des vases qui la contiennent quand elle vient à se congeler.

L'eau n'est pas un corps simple, comme on l'a cru long-temps; elle est composée de deux élémens gazeux, qui se condensent en se combinant : ce sont l'hydrogène et l'oxigène. Un volume d'oxigène et deux volumes d'hydrogène représentent la composition de l'eau, et comme ces gaz peuvent se trouver libres, et se combiner par l'étincelle électrique, il en résulte qu'il peut se former encore de l'eau dans la nature.

Nous venons de voir que l'eau, en passant de l'état liquide à l'état solide, cristallise toujours; mais les cristaux qui en résultent peuvent être plus ou moins réguliers. Ils offrent rarement des formes bien distinctes, quand ils se forment ailleurs que dans l'atmosphère. Le plus souvent l'eau se congèle irrégulièrement, et présente des formes accidentelles plus ou moins variées, que l'on peut aisément observer dans les glaciers naturels.

A l'état liquide, l'eau a la propriété de mouiller la plupart des corps et d'en dissoudre un grand nombre, aussi est-elle rarement pure; car, en filtrant à travers les terres, elle se charge des principes solubles qu'elles contiennent, et lors même qu'elle ne peut rien dissoudre, elle entraîne en simple suspension une foule de

corps étrangers organiques et inorganiques qui ne tardent pas à entrer en décomposition ou à se déposer suivant leur nature ; d'où résultent des produits nouveaux qui apportent encore des modifications au liquide qui les recèle. Il n'y aurait guère que l'eau de pluie ou de neige qui pût être pure.



CHAPITRE DEUXIÈME.

DES SOURCES.

La majeure partie de l'eau qui s'infiltre dans l'intérieur du sol, traverse les fissures du terrain, abandonne les matières qu'elle tenait en suspension, gagne les lieux les plus bas, et s'en échappe en formant des *sources*. Souvent cette eau rencontre une couche imperméable sur laquelle elle glisse sans pénétrer : elle s'y rassemble, suit sa pente, et forme une nappe souterraine qui vient sortir à la base d'un coteau, ou sur le flanc d'une montagne. C'est donc dans les pays de plaines entourées de montagnes que les sources doivent se présenter le plus souvent. On en rencontre assez fréquemment plusieurs situées sur une même ligne, et sortant du sol sur un même point; elles indiquent dans ce cas le point de jonction de deux couches superposées.

On trouve des sources dans tous les terrains, mais on conçoit qu'elles soient plus abondantes dans les terrains stratifiés que dans les autres. On en voit aussi beaucoup aux environs des volcans, mais elles présentent un caractère particulier, c'est de s'échapper à l'extrémité des coulées de lave, où elles forment parfois de magnifiques ruisseaux ; elles sont au contraire très-rares autour des volcans eux-mêmes; car le sol qu'ils ont formé, composé de cendres et de sables plus ou moins scorifiés, livrent à l'eau un passage facile qui lui permet

de s'écouler, pour aller plus loin alimenter ces belles sources qui sont si communes dans l'Eifel sur les bords du Rhin, et en Auvergne sur le bord de la Limagne.

L'élévation absolue des sources est très-variable, et en général on en trouve à toutes les hauteurs, quelquefois même bien au-dessus des terrains qui sembleraient devoir les alimenter; on est même forcé d'admettre pour quelques-unes d'entr'elles l'action de forces étrangères qui les élèvent au-dessus des niveaux qui leur donnent naissance. Ainsi, par exemple à Ste-Hélène, les fontaines coulent dans les lieux les plus élevés de l'île, et une d'entr'elles en occupe précisément le sommet.

On trouve un exemple analogue près de Modène, et l'on pourrait en citer un très-grand nombre.

VOLUME DES SOURCES.

Les sources répandent à la surface des îles et des continens un volume d'eau très-considérable; mais cette quantité de liquide sort de la terre d'une manière très-irrégulière, c'est-à-dire que certaines sources sont très-abondantes, et que d'autres le sont très-peu. Lorsque dans une contrée les fontaines sont nombreuses, ce qui arrive généralement dans les terrains composés de roches cristallisées, telles que les granites, les gneiss et les micaschistes, le volume des eaux est peu considérable, et l'on conçoit en effet que des roches fissurées à fentes très-étroites, doivent laisser échapper à la fois une très-petite quantité de liquide. Si, au contraire, le terrain est formé de couches superposées; si ces couches sont formées de roches tendres, arénacées, que l'eau peut facilement entraîner, ou de roches calcaires dans lesquelles elle peut aussi pénétrer avec facilité, on voit

alors des sources considérables qui s'échappent de longues cavernes, et donnent immédiatement naissance à des rivières ou à de puissans ruisseaux. Telles sont plusieurs sources du Jura, telle est la fontaine de Vaucluse. Dans ce cas, les eaux qui pénètrent dans ces sortes de terrains ne tardent pas de sillonner leurs roches peu solides, et de creuser successivement des canaux, qui tendent toujours à se réunir aux plus anciens, qui sont les plus profonds. Il arrive alors dans le sein de la terre ce qui arrive à la surface; c'est que les petits cours d'eaux vont toujours se jeter dans ceux qui sont plus considérables, et l'on peut regarder ces énormes sources comme des fleuves souterrains qui résultent de la réunion d'une infinité de ruisseaux.

DES FONTAINES JAILLISSANTES ET INTERMITTENTES.

Quelle que soit son abondance, l'eau des sources sort ordinairement de terre avec régularité, sauf quelques variations toutes occasionnées par les saisons, mais cette règle présente de nombreuses exceptions.

L'eau, comme nous l'avons vu, glissant sur une couche de terrain imperméable, peut imbiber une couche poreuse placée au-dessous de celle qui s'oppose à son infiltration, et un autre lit de matières imperméables peut se trouver placé sur cette couche imbibée, en sorte que l'eau est réellement emprisonnée. Si cette eau descend de montagnes élevées, si les couches au milieu desquelles elle se trouve enfermée sont courbées et relevées sur le flanc des montagnes, comme l'indique la figure I, il est bien clair que cette eau, fortement comprimée, doit faire effort à la fois contre la couche inférieure qui s'oppose à son infiltration, et contre la supérieure qui arrête son épanchement au dehors.

Si sur un point de la couche supérieure il existe une ouverture, l'eau s'en échappe avec force et jaillit presque toujours en dehors. Telle est l'origine des nombreuses fontaines jaillissantes que l'on remarque en différens endroits.

M. Virlet en a observé un fort bel exemple au vieux château de Sozay, près Clamecy. La source est désignée par les habitans sous le nom d'*Abîme*, parce qu'effectivement on n'a pas encore trouvé sa profondeur. Elle sort, sans bouillonnement sensible, d'un puits circulaire de 10 à 12 pieds de diamètre, en effet très-profond, et traversant le terrain jurassique qui constitue toute la contrée (1).

Les sources du Loiret et de la Touvre en sont des exemples bien remarquables; elles sortent en bouillonnant du milieu de gouffres profonds qu'on regarde aussi dans le pays comme des abîmes sans fond, et fournissent des volumes d'eau assez considérables pour pouvoir porter de forts bateaux à leur origine.

On cite encore parmi les fontaines jaillissantes, celles de Moyse, que Monge a décrites. Elles sont situées près de Suez, au sommet de monticules de sables amenés par les vents; telle est encore la belle source du banc de sable de la plage d'Alvarado dans le golfe du Mexique. Ce banc de sable, qui depuis quarante ans a beaucoup augmenté par suite d'atterrissemens successifs, forme une colline de 30 mètres de hauteur, au sommet de laquelle les habitans d'Alvarado, et les vaisseaux qui fréquentent ce port, viennent journellement chercher de l'eau de la source jaillissante, qui est douce et de bonne qualité.

---

(1) Lettre à l'Académie des sciences, séance du 30 juillet 1833.

On observe aussi un grand nombre de sources jaillissantes sous les eaux de la mer, et quelquefois même elles sont situées à une assez grande distance des côtes. Il y a peu d'années, un convoi anglais, sur lequel M. Buchanan se trouvait embarqué, rencontra, par un calme plat, dans la mer des Indes, une abondante source d'eau douce à 125 mille (36 lieues) du point de la côte le plus voisin (1).

Une des plus belles sources jaillissantes dans la mer, est celle du golfe de la Spezzia, décrite par Spallanzani. Elle s'élève du fond de la mer à sa surface, en y formant une espèce de bouton, ou plutôt de mamelon, de 20 à 25 mètres de diamètre sur trois à quatre décimètres de hauteur; au centre de cette circonférence, on voit un grand nombre de jets verticaux, très-distincts quand la mer est calme, et qui ont une telle impétuosité, qu'il est très-difficile à un bateau de s'arrêter au centre du mamelon. L'abbé Spallanzani parvint cependant à fixer sa nacelle, pour y faire quelques observations. Cette source est à 40 ou 50 mètres de distance de la terre, et à un mille environ de la Spezzia. La profondeur de l'entonnoir dont elle jaillit est de 14 à 15 mètres. Lorsque le plomb arrive dans le voisinage du fond, l'on sent trembler la corde à laquelle il est attaché; et comme on n'observe pas ailleurs ce tremblement, il est clair qu'en jaillissant, l'eau de la fontaine lui communique ce mouvement.

M. de Humboldt cite aussi plusieurs exemples de ce phénomène dont le plus curieux est celui qu'on observe dans la baie de Xagua, sur la côte méridionale

(1) Arago, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835. p. 230.

de Cuba. « A deux ou trois lieues de la terre, des sources d'eau douce sortent du milieu de l'eau salée, et probablement par l'effet de la pression hydrostatique. Leur éruption se fait avec tant de force que l'approche de ces lieux fameux est dangereuse pour les petites embarcations, à cause des lames qui sont très-larges et se croisent en clapotant. Les navires côtiers approchent quelquefois de ces sources pour y puiser de l'eau, qui est d'autant plus douce qu'on la puise à une plus grande profondeur. » (1) Le même auteur cite aussi les Cayos, petits îlots de l'île de Cuba, qui presque tous contiennent dans leur centre une mare d'eau douce nécessairement alimentée par des sources (2). Les savans de l'expédition scientifique en Morée ont rencontré plusieurs de ces sources jaillissantes, et l'on doit à MM. Virlet et Boblaye des détails forts intéressans sur ce phénomène. Cette contrée offre un grand nombre de bassins fermés, dans lesquels les eaux de pluie sont absorbées pour venir reparaître à une distance plus ou moins grande. On donne à ces sources le nom expressif de *kefalovrisi* (têtes de sources), et plusieurs des fleuves des plus célèbres de l'antiquité n'ont pas d'autre origine. Les plus volumineuses de ces sources s'ouvrent sur le littoral ou dans les plaines, sur la couche horizontale que dessinent les anciens rivages. Telle est la position des sources de Lerne, de l'Erasinus, de Tirynthe, de Candia dans l'Argolide, et des magnifiques fontaines de Skala dans l'Hélos; souvent elles se font jour au-dessous du niveau de la mer, comme celles que nous avons citées un peu plus haut. Pauzanias avait

(1) Humboldt, *Tableaux de la Nature*, tom. I, p. 267.
(2) Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 235.

déjà observé ce phénomène, et tout porte à croire que sa description se rapporte au fleuve sous-marin d'Anavolo (*Dine*), près d'Astros, comme le suppose M. Boblaye. On voit, par un temps calme, à 3 ou 400 mètres du rivage, les flots dessiner de grands arcs concentriques autour d'une partie très-bombée, et les sables bouillonner sur une étendue considérable (1).

DES SOURCES INTERMITTENTES.

Il arrive aussi à un certain nombre de sources, et principalement à celles qui sont jaillissantes, d'offrir des mouvemens d'intermittence bien marqués qui, selon toute apparence, sont dûs à deux causes principales.

La première, est la présence de corps gazeux qui, étant forcés de sortir par la même ouverture que l'eau, remplissent pendant quelque temps l'orifice par lequel ils se dégagent et forcent le liquide d'attendre en le refoulant dans les conduits. Dès que les gaz sont sortis, l'eau arrive avec violence et reprend son cours ordinaire.

La seconde cause de l'intermittence des fontaines est tout-à-fait indépendante de celle que nous venons d'indiquer. C'est la présence de cavités souterraines dans lesquelles l'eau se rassemble, et qui se vident ensuite comme si on y adaptait un syphon.

Supposons, au milieu d'un terrain quelconque, une cavité C (*fig.* I.) avec des fissures FFF qui viennent y conduire de l'eau. Cette eau s'y rassemble et remplit peu

(1) Boblaye, *Annales des mines*, 3e série, tome IV, p. 113, et *Voyage dans la Morée.*

à peu cette cavité. Une fissure recourbée O S E communique avec l'extérieur et laisserait de suite échapper l'eau si elle avait la direction O E; mais elle fait un coude S qui s'élève au-dessous de la partie supérieure de la cavité. L'eau ne peut donc pas s'en échapper, mais quand elle a atteint la ligne d'élévation A B, elle coule par la branche du syphon qui, dépassant la ligne D D qui indique le fond de la cavité, la vide entièrement. Il faut alors qu'elle s'emplisse de nouveau, jusqu'à la ligne A B, avant de se vider une seconde fois, et ainsi de suite. Il est facile de concevoir que les dimensions relatives de ces cavités et des fentes qui donnent issue au liquide, doivent faire varier à l'infini la durée de l'intermittence. On cite de ces fontaines dans une foule de localités.

Les plus célèbres de ces sources intermittentes sont sans contredit les Geysers d'Islande; mais comme, selon toute apparence, les singuliers caractères qu'ils nous offrent sont dépendans de forces particulières agissant encore dans l'intérieur du globe, nous reviendrons plus loin sur cet intéressant sujet d'études. Pline a cité la célèbre fontaine de Côme dans le Milannais (1), dont les intermittences sont d'une heure. La ville de Colmars en Provence en a une qui s'élève huit fois dans le même espace de temps. Celle de l'abbaye de Haute-Combe en Savoie, est située à 127 mètres au-dessus du lac du Bourget et tombe perpendiculairement de l'intérieur du Mont du Chat, par un canal qu'elle tapisse de concrétion calcaire. Les chutes ont lieu à peu près toutes les vingt minutes. Il semble

---

(1) Pline, liv. II, chap. 103.

cependant que les intervalles sont un peu plus longs pendant les sécheresses. Chaque éruption est accompagnée et suivie d'un bruit assez fort dû au déplacement de l'air et à sa rentrée dans le canal. Près de là, à une petite distance de Chambéry, on cite la source intermittente du Puits-Gros, qui coule au lever et au coucher du soleil, à midi et à minuit; c'est-à-dire que ces intervalles sont de 5 à 6 heures, et semblent varier suivant les saisons. Son volume est très-considérable. Il y a aussi à Fronzanches, dans le Languedoc, une source périodique dont l'accès retarde tous les jours de 50 minutes (1). Celle de Boulaigne, près Fressinet, à deux lieues de Villeneuve-de-Berg, dans les monts Coyrons, reste quelquefois vingt ans sans couler, puis elle donne de l'eau un, deux et trois mois, quelquefois davantage, puis elle s'arrête et reprend alternativement d'heure en heure, et finit par cesser pour un laps de temps plus ou moins long. La source de Fontestorbe près Belesta, dans les Pyrénées, devient intermittente pendant les sécheresses. A l'époque où M. Daubuisson l'observa, elle augmentait de niveau pendant 10 minutes et coulait pendant une demi-heure de manière à faire tourner un moulin; elle baissait alors pendant 35 minutes, puis augmentait encore. Les deux volumes d'eau aux époques extrêmes étaient comme 1 est à 10.

Il y a aussi des fontaines intermittentes dont les accès sont très-irréguliers; celle de Madame coule pendant 25 à 90 minutes, puis tarit tout-à-fait pendant 10 à 15 minutes; son fond reste à sec. Celle de Boulidou s'élève et s'abaisse plus de trente-six fois en 24

---

(1) Astruc, *Histoire naturelle du Languedoc et de la Provence.*

heures. Ces deux fontaines sont situées sur les bords du Gardon, et ont peut-être quelques rapports avec les crues de cette rivière.

Près de Phalsbourg, existe aussi une source intermittente qui jaillit très-fortement pendant 15 minutes, puis cesse de couler pendant un temps à peu près égal, et reparaît pour disparaître ainsi périodiquement d'une manière tout-à-fait régulière. L'eau en est potable et de bonne qualité. (1)

Il faut peut-être encore assimiler aux sources à la fois jaillissantes et intermittentes, certains *puits naturels*, que l'on désigne souvent sous le nom de *gouffres, cuves*, *abîmes*, *entonnoirs*, etc., que l'on rencontre dans différens pays. Ce sont des cavités en forme de puits à parois plus ou moins lisses, à contours arrondis, et quelquefois irréguliers, et dont la profondeur est très-considérable. Ils sont souvent situés sur des plateaux, dans des plaines et même sur les flancs des montagnes. Ce sont de véritables puits naturels dans lesquels le niveau de l'eau varie beaucoup, au point même que, dans certains cas, elle déborde tout autour, et en si grande abondance, qu'elle inonde les environs. Tel est le *Frais-Puits*, près Vesoul (Haute-Saône). Lorsqu'il a plu abondamment pendant plusieurs jours de suite, l'eau s'en échappe en bouillonnant, et forme un véritable torrent qui s'épanche sur toute la contrée. C'est au point qu'en 1557, suivant Piganiol, la ville de Vesoul, assiégée, fut miraculeusement délivrée par un débordement du Frais-Puits, qui en moins de six heures inonda toute la campagne.

(1.) J. Erkmann, *Institut*, 4e année, no 184.

De semblables gouffres ne sont pas rares dans le Jura, et, selon toute apparence, ils communiquent à des cavernes étendues; car souvent, dans leurs débordemens, ils rejettent des poissons à la surface du sol; tandis que dans d'autres circonstances, jouant un rôle inverse, ils absorbent, comme les *Katavothra* de la Grèce, les eaux qui séjourneraient sur un sol argilleux, et nuiraient singulièrement aux récoltes.

Une cause tout-à-fait indépendante de celles que nous venons d'indiquer, peut encore produire des fontaines intermittentes, ou du moins faire varier le niveau de leurs eaux, comme on l'observe quelquefois sur les bords de la mer. C'est l'action du flux et reflux dont les eaux de sources peuvent suivre le mouvement. Nous en expliquerons la cause en nous occupant plus loin des puits artésiens.

Enfin, l'écoulement des eaux, et principalement celui des fontaines intermittentes, est souvent accompagné de dégagemens de gaz plus ou moins considérables; on voit ces gaz se dégager en grosses bulles, et on les entend siffler en sortant. Michaux rapporte qu'il a vu à Dixonspring et à Northwill, dans l'Amérique septentrionale, des sources qui contenaient une grande quantité d'air, et qui toutes étaient intermittentes. Beaucoup de sources de nos climats se trouvent dans les mêmes circonstances, et il est bien certain que les eaux sortent souvent du sol parfaitement aérées. D'autres gaz, tels que l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré les accompagnent aussi fréquemment; mais les eaux dans lesquelles on les rencontre semblent appartenir à une classe particulière de phénomènes, et ce n'est qu'en étudiant les eaux thermales ou minérales, que nous nous occuperons de ces deux corps gazeux.

DE LA TEMPÉRATURE DES SOURCES.

Lorsque l'on plonge un thermomètre dans l'eau d'une source, on remarque qu'il s'arrête toujours au même point ou du moins que la colonne du mercure varie peu selon les saisons et l'époque à laquelle on fait l'expérience. Il y a par conséquent une certaine constance dans cette température; mais s'il y a peu de variation quand on opère sur la même source, il y en a au contraire de fréquentes et de très-grandes quand on agit sur des fontaines différentes.

Sous ce point de vue, on peut diviser les sources en *froides* et *thermales*, et quoique cette division soit difficile à établir d'une manière tranchée, elle est, pour ainsi dire, consacrée par l'usage. Pour le moment, nous ne nous occuperons que des premières, car les sources thermales doivent vraisemblablement leur température élevée à des forces particulières qui agissent encore dans l'intérieur du globe; ce sont des phénomènes qui se rattachent aux éruptions volcaniques et qui trouveront place plus loin avec les *Geysers* et les *Lagonis*. On voit d'après cela que la chaleur des eaux peut provenir de deux causes :

1° De la température qui règne dans les profondeurs du globe ;

2° De celle qui agit à sa surface, c'est-à-dire de la chaleur solaire.

Ce que nous allons dire s'applique à celles qui nous offrent ce dernier caractère.

On peut admettre comme règle générale que la température des sources suit assez régulièrement, non la température de l'air extérieur qui varie à chaque instant, mais la température moyenne de l'année. Elle re-

présente dans tous les cas la température du sol à une certaine profondeur. Si les sources ont leurs canaux souterrains près de la surface, les saisons ont une influence marquée sur la chaleur des eaux; mais dans le cas contraire, cette chaleur est constante et ne varie pas. On entend dire pourtant tous les jours que l'eau des sources est chaude en hiver et froide en été; mais si l'on y réfléchit, on verra que c'est la température de l'air extérieur qui varie et qui nous sert de point de comparaison. Si nous passons de l'air échauffé à 30 degrés, comme cela arrive souvent en été, dans l'eau d'une source marquant seulement 12°, il est clair que cette eau nous paraîtra très-froide, mais si l'air est à 8 au-dessous de 0 et que la source conserve son degré + 12°, elle aura en plus la grande différence de 20 degrés et nous paraîtra chaude. On éprouve les mêmes sensations en descendant dans les caves qui ont, comme les sources, une température constante, quand elles sont assez profondes.

On conçoit très-bien qu'il ne peut y avoir de sources au-dessous du point de congélation, mais immédiatement au-dessus, on en trouve à toutes les températures, depuis 0 jusqu'à 100 degrés, et alors elles se transforment en vapeurs, qui souvent même à cause d'une forte pression ont une température plus élevée; mais ces dernières appartiennent, comme nous l'avons dit, à la division des eaux thermales. On pourra presque toujours distinguer ces deux classes de sources en faisant attention à la température moyenne des lieux. Ainsi la température moyenne la plus élevée que nous connaissions est celle de quelques lieux situés sous l'équateur, ou du moins entre les tropiques. Or, cette température n'excède nulle part 30°; par conséquent toute source dont la chaleur fait monter le thermomè-

tre à plus de 30°, on pourrait même dire toutes celles qui atteignent cette élevation, sont des sources thermales, et doivent leur température à des causes tout-à-fait indépendantes des relations extérieures de notre planète. Mais, sous les zones tempérées où la température moyenne est bien moins élevée, sous le 45me parallèle par exemple, où elle est ordinairement de 12 à 14°, une source qui ferait monter le thermomètre à 15° ou 16° serait une source thermale. Ainsi, connaissant la moyenne d'un lieu situé à une latitude quelconque, on pourra toujours assurer qu'une source dont la chaleur dépasse cette moyenne vient des profondeurs du globe, et n'est plus un phénomène qui appartient à la surface.

L'inverse n'est pas également vrai, c'est-à-dire qu'il existe quelques sources minérales dont la température est égale à la moyenne du pays; mais ces exceptions sont rares, et dans ce cas, la composition de ces eaux et les matières gazeuses qui les accompagnent suffisent ordinairement pour les faire distinguer.

La chaleur ordinaire des eaux de source entre le 45me et le 50me parallèle, est de + 10 à + 12°. Aussi l'on voit pendant l'hiver la neige qui fond partout autour d'elles, et la verdure des plantes s'y conserve pendant les froids les plus rigoureux.

A mesure qu'on s'élève sur les montagnes, les sources se refroidissent comme l'air environnant; aussi n'est-il pas rare de voir dans les Alpes des filets d'eau qui marquent + 1 ou + 2 degrés seulement, et qui sont alimentés par la fonte des glaciers. Les sources de la Dordogne au Mont-Dore marquent rarement plus de + 4 et sont alimentées par les brouillards qui viennent flotter autour du pic de Sancy. Les *Kephalovrysi* de la Grèce, situés par 36 et 37° de latitude, ont une température

moyenne de + 17,5 à + 18,5, qui s'accorde parfaitement avec la température moyenne que donne le calcul pour cette latitude. En sorte qu'au défaut d'observations météorologiques, les sources offrent un moyen de connaître la température, assez précis pour une foule de recherches dans l'étude de la distribution des êtres organiques à la surface du globe. Il faut avoir soin pourtant de tenir note de l'élévation au-dessus du niveau de la mer, car c'est une cause puissante de variation qu'il faut déterminer par l'expérience sous chaque latitude. Sous le 45[me] parallèle, Ramond évalue le refroidissement de 1° dans l'eau des sources à 84 toises d'élévation.

COMPOSITION DE L'EAU DE SOURCE.

L'eau qui tombe sous forme de pluie ou de neige, est ordinairement pure; mais on conçoit très-bien qu'en traversant une certaine épaisseur de terrain, en ruisselant dans tous les interstices que présente le sol, elle doit se charger et quelquefois même se saturer de tous les principes solubles qu'il renferme; aussi l'eau de source n'est jamais pure. Il en est cependant qui ne renferme que des indices de matières étrangères; c'est celle qui provient de sources situées sous des courans de lave, qui reposent eux-mêmes sur des terrains cristallisés. Celles qui sortent de ces derniers terrains sont aussi quelquefois très-pures; mais dans tous les sols calcaires ou de sédiment, l'eau contient toujours une certaine quantité de matières salines ou organiques, quelquefois assez forte pour la rendre impropre aux usages domestiques.

En nous occupant des eaux minérales, nous énumérerons les diverses substances que l'on rencontre dans

les sources ; nous citerons pour le moment le *muriate de soude* ou *sel marin*, qui existe pour ainsi dire dans toutes, en quantité quelquefois très-petite à la vérité, le *sulfate de chaux*, le *carbonate de chaux*, le *carbonate de magnésie* et le *carbonate de soude*.

Presque toutes les eaux de sources contiennent aussi de l'air atmosphérique, ou, pour parler plus exactement, un mélange d'azote et d'oxigène ; car ces deux gaz ne se dissolvent pas également dans l'eau ; l'oxigène y étant plus soluble s'y trouve en plus grande quantité, et l'air qui sort des eaux de sources chauffées contient toujours plus d'oxigène que l'air atmosphérique. L'azote, qui se dégage en quantité très-variable d'un grand nombre de sources, n'est peut-être que celui qui provient de l'inégale dissolution des deux principes qui composent l'air atmosphérique en contact avec l'eau dans les conduits souterrains.

DE L'ORIGINE DES SOURCES.

Bernard de Palissy essaya l'un des premiers d'expliquer l'origine des sources, et il en savait presque autant que nous en savons aujourd'hui.

« Quand j'ai eu, dit-il, bien long-temps considéré la cause des sources des fontaines naturelles, et le lieu où elles pouvaient sortir, enfin j'ai reconnu directement qu'elles ne procédaient et *n'étaient engendrées sinon des pluies* (1). » Il explique ensuite très-bien comment les eaux se réduisent en *vapeurs*, comment *ces vapeurs* se résolvent en pluie, et comment l'eau de la mer en s'évaporant n'enlève point de sel (2).

---

(1) Bernard de Palissy, p. 273, édition de Faujas.
(2) Idem, p. 279 et 280.

Il explique enfin comment les sources se trouvent plutôt dans les montagnes que partout ailleurs. Il compare les roches dont elles sont formées à la charpente osseuse des animaux, qui les maintient dans une situation élevée, et il ajoute : « Ayant mis en ta mémoire une telle considération, tu pourras connaître la cause pourquoi il y a plus de fontaines et rivières procédantes des montagnes, que non pas du surplus de la terre, qui n'est autre chose, sinon que les roches èz-montagnes retiennent les eaux des pluies comme ferait un vaisseau d'airain ; et lesdites eaux tombantes sur lesdites montagnes, au travers des terres et *fentes*, descendent toujours et n'ont aucun arrest, jusqu'à ce quelles aient trouvé quelque lieu formé de pierres ou roches, bien contigu et bien condensé ; et lors elles se reposent sur un tel fond, et ayant trouvé quelque canal ou autre ouverture, elles sortent en fontaines ou en ruisseaux et fleuves, selon que l'ouverture et les réceptacles sont grands. »

Les pluies ont en effet la plus grande influence sur la majeure partie des sources, surtout dans les pays des plaines, et il suffira pour s'en convaincre de rappeler les observations qui furent présentées, il y a quelques années, à l'Académie des sciences, par M. Fleuriau de Bellevue, et dans lesquelles il prouve la diminution des sources dans l'ancien Poitou et dans la Charente-Inférieure (1).

C'est seulement depuis dix ans, et non pas depuis environ vingt ans, que date le phénomène dont il s'agit, phénomène qu'il attribue exclusivement à une di-

(1) *Institut*, t. 3, p. 259.

minution dans la quantité d'eau tombée pendant ce temps sous forme de pluie : quoique l'appauvrissement et la disparition des sources dans ce pays aient été pour lui une véritable calamité, les récoltes ne paraissent pas en avoir souffert. M. Fleuriau explique ce fait en faisant remarquer que la diminution annuelle de la pluie n'a pas porté également sur tous les mois. Les observations météorologiques sur lesquelles il se fonde, ont été faites à La Rochelle de 1777 à 1793, et dans le canton de Courçon, de 1810 à 1833 inclusivement. Ces observations ont été faites d'abord à 4 et ensuite à environ 12 mètres au-dessus du niveau de la mer. On a toujours employé le même udomètre qui est encore parfaitement intact. Le sommaire de ces observations jusqu'en 1827 est consigné dans les *Annales de chimie et de physique* de 1829.

La diminution sensible des pluies ne date que de l'année 1825. Les huit mois de février à septembre inclusivement ne recevaient à La Rochelle en général que des pluies médiocres, qui étant bientôt absorbées par l'action du soleil, des vents et de la végétation, ne pouvaient pénétrer assez profondément pour alimenter suffisamment les sources. En effet, la moyenne de ces huit mois n'a été que de 20 lignes $\frac{3}{10}$ par mois, dans les trente-deux années qui précèdent 1825, et que de 19 lignes $\frac{9}{10}$ dans les neuf dernières années, y compris 1833.

Les quatre mois d'octobre, novembre, décembre et janvier sont en quelque sorte les seuls qui puissent approvisionner les sources pour un certain temps, à raison du grand volume et de la longue durée de leurs pluies, ainsi que de la faible évaporation qui règne dans cette période de l'année. On a recueilli en effet mensuellement, pendant ces quatre mois de trente-

deux années précitées, 32 lignes $\frac{8}{10}$, ce qui donne près d'un pouce d'eau de plus par mois, que les huit mois précédens de la même période ; or, il n'est tombé que 23 lignes $\frac{5}{10}$ d'eau dans les quatre pareils mois des neuf dernières années ; il y a donc une diminution dans la cause alimentaire des sources de 28 pour 100 entre ces deux périodes, différence suffisante pour expliquer le phénomène que les environs de La Rochelle ont présenté.

L'égalité presque complète qui existe entre les quantités totales de pluie des mois de février à septembre, de l'une et l'autre période (la différence n'est en effet que de $\frac{4}{10}$ de ligne par mois, ou d'environ 2 pour 100), mérite d'autant plus d'être signalée, que ces huit mois sont ceux pendant lesquels la plupart des végétaux prennent leur accroissement et parviennent à la maturité.

L'année 1834 a présenté le plus grand de tous les déficits. On n'y compte que 94 jours de pluie et 17 pouces 4 lignes $\frac{8}{10}$ d'eau, tandis que les moyennes des trente-deux années précitées ont été de 148 jours et de 24 pouces 5 lignes $\frac{4}{10}$, ce qui donne une diminution de 29 pour 100 sur l'année entière, et spécialement de 55 pour 100 sur les quatre mois de janvier, octobre, novembre et décembre.

Tout ce que nous avons rapporté jusqu'à présent tend à prouver que les pluies produisent les sources en s'infiltrant dans le sol, et en effet, un grand nombre n'ont pas d'autre origine. On s'en aperçoit facilement aux grandes variations qu'elles présentent dans le volume de leurs eaux. On les voit souvent tarir dans les sécheresses, et couler en abondance quand des pluies fréquentes abreuvent le terrain. Il s'en faut cependant de beaucoup que toutes les sources soient ainsi dépendantes des saisons.

Un grand nombre d'entr'elles ont pour causes la condensation immédiate de la vapeur, sans que celle-ci passe d'abord à l'état de pluie; et par conséquent les montagnes auraient une grande influence sur l'abondance des sources dans une contrée. Leurs sommets élevés et froids se trouvant en contact avec des vapeurs, les condensent, et l'eau ruissèle sur leurs parois, ou pénètre dans leur intérieur, selon la nature des rochers.

Les montagnes exercent une attraction puissante sur tous les corps qui se trouvent dans leur voisinage, et par conséquent sur les vapeurs de l'atmosphère; mais quand cette attraction n'aurait pas lieu, l'effet serait presque le même; car, dès que les premières vapeurs seraient condensées, celles qui les suivent et qui les pressent par leur élasticité, se trouvant elles-mêmes en contact avec la montagne, se condenseraient à leur tour, et ainsi successivement, et il s'établirait nécessairement un courant de vapeurs qui viendraient de toutes parts aboutir contre les rochers et s'y résoudre en eau. Aussi voit-on les pics isolés sans cesse environnés d'une ceinture de brouillards, formés non-seulement par les nuages épars dans l'air, et qui sont visiblement attirés par la montagne, mais encore par les vapeurs répandues dans l'atmosphère, qui étaient d'abord invisibles pendant qu'elles étaient raréfiées, mais qui deviennent apparentes et forment des nuages sensibles dès qu'elles approchent assez de la montagne pour éprouver un commencement de condensation, et qui finissent par se résoudre en eau lorsqu'elles sont parvenues au point de contact.

Lorsque les vapeurs se sont condensées en eau coulante contre les rochers, cette eau pénètre dans leurs interstices, elle s'y fraie des routes qui s'élargissent avec le temps; elle descend à des profondeurs plus ou

moins grandes, et reparaît au jour sur les flancs ou vers la base de la montagne.

La vapeur passe même quelquefois à l'état solide avant de former les sources. C'est ce qui arrive sur le sommet des hautes montagnes. Au lieu de pénétrer de suite dans l'intérieur, elle se congèle et forme des glaciers. Ceux-ci fondent par leur partie inférieure, et de leur extrêmité on voit sortir des sources limpides et abondantes. Telle est celle de l'Arveyron, qui sort comme un torrent de l'antre de glace ouvert à l'extrêmité du glacier des Bois.

Lorsque les sources proviennent directement de l'absorption et de la condensation des vapeurs contenues dans l'air, elles sont ordinairement plus abondantes l'été que l'hiver, et il est facile de se rendre raison de cette différence, en se rappelant que l'air contient d'autant plus de vapeur d'eau qu'il est plus chaud. Or, pendant l'hiver, le sol étant plus chaud que l'air, il ne peut y avoir condensation de vapeur, tandis que pendant l'été l'air étant chaud et le sol plus froid, surtout au sommet des hautes montagnes, il y a une précipitation d'eau continuelle qui alimente les sources des environs.

Ceci explique l'abondance de certaines sources qui sont placées presqu'au sommet des montagnes, ou qui du moins ne sont dominées que par des pics dont la surface est très-limitée. On ne peut se rendre raison du volume de leurs eaux qu'en admettant cette condensation continuelle de vapeurs sur les sommets voisins.

Une végétation abondante influe aussi d'une manière très-remarquable sur la production des sources. Il paraît même que les arbres ont la propriété d'attirer les vapeurs avec bien plus de force que les montagnes, et le déboisement d'un pays contribue à le dessécher et à le priver de ses fontaines. Mercator rapporte que dans l'île Saint-Thomas il ne pleut jamais, mais qu'il

y a dans le centre de l'île une grande montagne couverte de forêts au-dessus desquelles des nuages flottent continuellement et produisent des sources qui sont l'origine de nombreux ruisseaux.

A ces différentes causes, qui déterminent la formation des sources, il faut encore ajouter l'action capillaire du sol et l'action des lois de la pesanteur qui obligent tous les liquides à chercher un niveau.

On remarque aussi une grande différence entre la distance qui existe entre le point d'absorption de l'eau et celui où elle sort. Ainsi, si la roche est dure, compacte et fissurée, l'eau en sort promptement et les sources sont nombreuses; si au contraire le terrain est composé de roches poreuses et très-perméables à l'eau, celle-ci pénètre profondément et va sortir au loin, en sorte que de grands espaces sont entièrement dépourvus de sources; c'est ce qui arrive dans les pays volcaniques où toutes les eaux s'infiltrent, se rassemblent sous les coulées, et viennent jaillir à leur extrêmité. Il n'est pas rare de voir des courans de lave de deux à trois lieues d'étendue n'offrir aucune trace d'eau sur tout leur trajet. Les sources d'eau douce qui s'échappent au milieu de la mer prouvent aussi que l'eau peut parcourir une grande distance, puisque une de celles que nous avons citées sort à 36 lieues de la côte la plus voisine. L'eau douce qui se rassemble dans les cavités des Cayos de Cuba doit aussi arriver d'un lieu assez éloigné.

« Lorsqu'on réfléchit, dit M. de Humboldt, sur l'extrême petitesse de ces îlots, on a de la peine à croire que les marres d'eau douce sont de l'eau de pluie non évaporée. Prouveraient-elles une communication souterraine du calcaire de la côte avec le calcaire qui sert de base aux polypiers lithophites, et l'eau douce de Cuba serait-elle soulevée par une pression hydrosta-

tique à travers la roche à coraux des Cayos, comme elle l'est dans la baie de Xagua, où au milieu de la mer, elle forme des sources fréquentées par les Lamantins (1). »

Quelques sources, et ce sont surtout les plus abondantes, n'ont pas pour cause directe la fréquence des pluies ni la condensation des vapeurs ; elles doivent leur origine à des ruisseaux et quelquefois même à de véritables fleuves souterrains qui viennent tout à coup jaillir au-dessus du sol. C'est ce qui arrive principalement dans la Morée. Les eaux pluviales se rassemblent dans des bassins fermés de tous côtés, mais presque toujours munis d'ouvertures particulières dans lesquelles ces eaux vont s'engouffrer. Dans d'autres lieux, on les voit sortir et former ces fontaines abondantes dont nous avons déjà parlé. Quand les sources doivent leur naissance à de tels phénomènes, il arrive souvent que leur température, leur volume et leur limpidité éprouvent de la part des saisons de grandes altérations; mais si le trajet souterrain que les eaux parcourent est assez long, toutes ces différences disparaissent, et la source conserve ses caractères constans. C'est précisément ce qui arrive aux *Kephalovrysi* de la Grèce, et ce qui excita la surprise de MM. Boblaye et Virlet quand ils virent que leurs eaux avaient la même température, la même pureté et à peu près le même volume après la fonte des neiges, dans la saison des pluies et dans les longues sécheresses de l'été.

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. XI, p. 235.

DES PUITS ARTÉSIENS.

Nous avons supposé jusqu'ici que l'eau infiltrée ou absorbée, descendant des lieux élevés vers ceux qui sont plus bas, trouvait une ou plusieurs issues faciles par lesquelles elle s'échappait; mais il n'en est pas toujours ainsi. Il arrive souvent, comme nous l'avons déjà dit au commencement de ce chapitre, que l'eau, s'infiltrant sur la tranche d'une couche perméable, peut pénétrer dans son intérieur, et que cette couche de terrain se trouve placée entre deux autres qui ne permettent pas au liquide contenu dans celle qui est perméable de s'échapper. (*Fig.* I.)

Si la couche supérieure a une grande étendue, tout le terrain qu'elle formera sera dépourvu de sources, et celles-ci viendront sortir au point le plus bas, sur la tranche même de la couche dans laquelle l'eau a pu pénétrer. Si maintenant nous admettons que par une cause quelconque, qui est ordinairement due au soulèvement des montagnes, ce système de couches perméables et imperméables, qui alternent avec plus ou moins de régularité, se trouve relevé vers ses bords, de manière à présenter un bassin dans son milieu, il en résultera que l'eau, suivant toujours les lois de la pesanteur, se rassemblera dans la partie la plus basse et s'y trouvera comprimée sans pouvoir s'échapper. Si dans un tel bassin il existe une ou plusieurs ouvertures, ou si l'on en pratique artificiellement, on aura une *source jaillissante*, c'est-à-dire que l'eau s'élèvera d'autant plus au-dessus du sol que son point d'infiltration supérieur sera plus élevé. Cette explication résume toute la théorie des *puits artésiens*, qui ne sont que des sources jaillissantes artificielles dont la nature a long-

temps montré l'exemple avant qu'on l'ait suivi, et dont le forage multiplié dans ces dernières années a jeté un grand jour sur l'origine et la disposition des nappes d'eau souterraines.

On voit que les terrains à couches, et surtout ceux qui sont formés de lits alternativement poreux et imperméables, sont ceux dans lesquels on a le plus de chance de succès lorsqu'on y introduit la sonde pour y chercher une source artificielle. Ces puits artésiens prouvent aussi qu'il existe sous certaines contrées des nappes d'eau souterraines, des lacs ou de véritables rivières, comme nous le prouverons en parlant des cavernes, et que la force qui détermine l'ascension du liquide n'est autre que la tension produite dans la nappe d'eau souterraine par l'élévation de son niveau supérieur. C'est exactement un jet d'eau qui jaillit à une hauteur et avec une force d'autant plus grande que son réservoir est plus élevé. La force ascensionnelle est quelquefois très-considérable, comme on peut en juger par les exemples suivans :

La commune de Bages, située à deux lieues sud-ouest de Perpignan, renferme plusieurs sources jaillissantes naturelles, connues dans le pays sous le nom de *Dals-Mattés*. Elles sont profondes, très-abondantes, cachées quelquefois par une végétation supérieure qui les rend très-dangereuses pour le voyageur aventuré dans les environs sans les connaître ou sans être accompagné d'un guide. L'eau qu'elles fournissent est limpide, agréable à la boisson, d'une température de 14° Réaumur. La forme du bassin de Bages et la présence de ces sources étant des données suffisantes, M. Durand, possesseur d'une grande partie des propriétés de cette commune, fit sonder sur un point, à environ 50 pieds au nord de Bages. A 80 pieds de profondeur, au-dessous

d'une couche de 3 pieds d'une marne très-sablonneuse, il jaillit une source très-claire, sans sable ni argile, à 14° Réaumur, et s'élevant à 3 ou 4 pieds au-dessus du sol. Un second sondage fut opéré à 6 pieds de distance du premier point : à la profondeur de 80 pieds, on obtint également l'eau jaillissante ; le travail de la sonde ayant été continué à une profondeur de 142 pieds, elle eut à traverser une argile noire et compacte ; à 145 pieds, elle s'enfonça d'elle-même assez profondément sans qu'on ait encore songé à découvrir à quelle profondeur elle s'arrêterait La sonde ayant été retirée avec promptitude, il jaillit aussitôt une source qui étonna tous les assistans par son abondance, sa force et sa puissance ascensionnelle. Dès l'instant de son apparition (28 août, 3 heures ½ du soir), aucun obstacle n'a pu lui être opposé pour la contenir. Elle s'est élevée à toutes les hauteurs qu'on lui a ménagées au moyen de tuyaux disposés perpendiculairement à son point de jaillissement ; c'est au point qu'il est permis de croire qu'elle s'élèvera à 50 pieds. Au 7 septembre, c'était encore même abondance, même force d'ascension. Cette eau forme, dès sa sortie de terre, un courant de 65 centimètres de largeur et 1 décimètre de profondeur, terme moyen. Dans une minute, l'eau parcourt 32 mètres, ce qui donne, à peu de chose près, 2,000 litres d'eau par minute. L'eau de ce second puits foré est claire, brillante, limpide, incolore ; elle a un peu de cette saveur particulière désignée sous le nom de fadeur d'eau ; sa température est de 15° Réaumur ; elle fait jaillir avec elle des grains de sable, du gravier rouge, en très-petite quantité, des morceaux d'argile noire dont quelques-uns sont presque aussi volumineux que le trou fait par la sonde. Un poids en plomb, de huit livres, soutenu par une corde, plongé dans le

trou de la sonde, a été rapidement jeté au dehors (1).

Voici un autre exemple bien remarquable de l'énorme quantité d'eau que peuvent fournir quelques fontaines artésiennes :

Le puits dont il s'agit a été percé à une lieue environ de Tours, à une très-petite distance de la rive droite du Cher, au milieu de prés qui dépendent du château de Tangé. Après avoir traversé les terrains de transport et un banc de craie de 62 mètres d'épaisseur, on a trouvé, à la profondeur de 67 à 74 mètres, plusieurs nappes d'eaux jaillissantes, séparées par des plaquettes de grès dur, et qui ont fourni, à un mètre environ au-dessus du sol naturel, 250 litres d'eau à la minute. De 74 à 95 mètres environ, on a rencontré de nombreuses couches d'argile brune, très-puissantes, alternant avec des calcaires siliceux et des grès verts en bancs plus ou moins épais. Parvenue à 125 mètres, la sonde a été enfoncée, dans l'espace de quelques heures, jusqu'à 130 mètres, en traversant successivement des plaquettes de grès et des couches de sables verts. A cette profondeur, la source fournit une masse d'eau de 2,500 à 2,600 litres à la minute (2).

Déjà d'autres puits artésiens avaient été forés avec succès à Tours et dans les environs, et un fait bien remarquable, c'est que les nouvelles sources jaillissantes que l'on y perce peuvent être multipliées et rapprochées presque indéfiniment sans se nuire, tandis que dans d'autres localités chaque nouveau puits abaisse le niveau des autres, ou du moins diminue leur volume.

---

(1) *Journal des Pyrénées*, 7 septembre 1833.

(2) *Lettre de M. Desbasseyns de Richemont à M. Arago*, Institut du 4 novembre 1835.

Un de ceux qui furent forés à Tours, dans la ville même, donna lieu à un phénomène très-curieux. Pendant les premières heures de son apparition, l'eau amena divers débris de corps organiques « parmi lesquels, dit » M. Dujardin, on pouvait reconnaître des rameaux » d'épines longs de quelques centimètres, noircis par » leur séjour dans l'eau; des tiges et des racines encore » blanches de plantes marécageuses; des graines de plu- » sieurs espèces dans un état de conservation qui ne » permettait pas de supposer qu'elles eussent séjourné » plus de trois ou quatre mois dans l'eau. Parmi les » graines, on remarquait surtout celle d'un caille-lait qui » croît dans les marais; on y trouvait enfin des coquilles » d'eau douce et terrestres. Tous ces débris ressem- » blaient à ceux que les petites rivières et les ruisseaux » laissent sur les bords après un débordement. » M. Dujardin fixe à moins d'un an le séjour que ces graines ont pu faire dans le liquide, puisqu'elles n'étaient pas décomposées. Or, comme elles furent recueillies en janvier, l'époque de leur maturité ne pouvait être que dans l'automne précédent; elles devaient par conséquent avoir mis quatre mois environ pour venir du point où elles avaient été englouties jusqu'à Tours. Et comme il existe des sources naturelles qui jaillissent bien loin du sol où elles puisent les eaux qui les alimentent, M. Dujardin pense que la nappe souterraine qui alimente les puits artésiens de Tours, prend naissance dans l'Auvergne ou dans le Vivarais. Bien qu'au premier abord il soit difficile d'admettre une telle opinion, elle n'a cependant rien qui répugne bien positivement, et elle a peut-être acquis un certain poids depuis que M. Dujardin a constaté par des procédés très-ingénieux la présence d'une petite quantité d'arragonite, substance très-commune en Auvergne, dans l'eau de ce puits:

tandis que c'est toujours du carbonate de chaux rhomboédrique qu'il a rencontré dans l'eau de la Loire et toutes les eaux des environs de Tours (1).

A Rivesaltes, dans les Pyrénées-Orientales, on a foré un puits qui, à la profondeur de 150 pieds environ, a donné par minute 800 litres d'eau qui possède une grande force ascensionnelle.

Une autre source artificielle établie nouvellement à Lillers (Pas-de-Calais), donne, à 40 mètres de profondeur, 700 litres par minute.

Il y a souvent plusieurs nappes d'eau superposées, et susceptibles de jaillir, comme on a pu le voir dans les faits que nous avons cités plus haut; mais il arrive plus souvent qu'une seule de ces nappes jaillit, tandis que les autres ne présentent pas le même caractère.

Entre mille exemples, on a fait cette remarque aux deux puits artésiens d'Elbeuf, sur lesquels M. Girardin a appelé l'attention de l'Académie des sciences pour un autre phénomène que l'un d'eux a présenté (2).

Ces puits, creusés à peu de distance de la Seine, et assez rapprochés l'un de l'autre, sont remarquables par le volume et la pureté de l'eau qu'ils fournissent; ils sont à la même profondeur de 149$^{m.}$ 40$^{c.}$ La nappe qui les alimente, et qui doit être la même, se trouve dans les sables verts et gris inférieurs à la craie. Les couches traversées par la sonde ont été absolument les mêmes dans les deux localités. La formation de craie a la même épaisseur de 121$^{m.}$ 95$^{c.}$ En creusant ces deux puits, on a trouvé une première nappe d'eau d'infiltration peu

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 1834, p. 216.
(2) *Lettre de M. Girardin à M. Arago.* Institut du 4 novembre 1833.

abondante, à 6 m. 49 c., et une deuxième très-abondante, entre 11 et 12 mètres au-dessous du sol : l'eau de ces deux puits est bonne, peu calcaire ; sa température est de 16° centigrades.

C'est dans l'eau d'un de ces puits que M. Girardin a constaté la présence de deux petites anguilles (1), qui ont été soumises à l'examen de M. Duméril qui les a parfaitement reconnues pour telles. Ce fait, extrêmement curieux par lui-même, le devient bien plus encore si l'on fait attention que l'on ne connaît pas le mode de reproduction des anguilles, et il prouve, dans tous les cas, que les eaux qui alimentent les puits artésiens peuvent provenir, comme celles qui donnent naissance à certaines sources naturelles, de rivières souterraines plus ou moins considérables, et ne sont pas toutes des eaux d'infiltration.

Tout ce que nous avons dit de l'intermittence de certaines sources naturelles, du volume constant que présente l'eau qui sort de quelques autres, devra nécessairement s'appliquer par la suite aux puits artésiens, lorsqu'on les aura multipliés et étudiés sur un grand nombre de points. On cite déjà près de La Rochelle une anomalie de ce genre. C'est un puits foré à 70 mètres du bord de la mer, et dans lequel la nappe ascendante que la sonde a rencontrée se maintient à 7 mètres au-dessous du sol. La profondeur totale de ce puits est de près de 190 mètres. Pendant quatre ans, le niveau de cette colonne liquide, de 183 mètres de long, ne varia pas sensiblement ; mais en 1833, quelques tentatives ayant été faites pour approfondir encore le puits, ses eaux éprouvèrent d'énormes mouvemens oscillatoires.

---

(1) *Institut* du 14 octobre 1835.

Le 1er septembre, on reconnut un abaissement de 48 mètres;

Le 2, cet abaissement était de 51 mètres;

Le 3, l'eau commença à remonter;

Le 2 octobre, l'eau était à son ancien niveau;

Le 3, nouvel abaissement;

Le 4, l'abaissement était déjà de 10 mètres;

Du 5 au 14, ascension de 3 mètres;

Du 14 au 18 (en 5 jours), abaissement de 47 mètres;

Le 19, commencement d'ascension;

Du 19 octobre au 13 novembre, l'ascension fut de 38 mètres;

Du 14 novembre au 16, abaissement de 5 mètres;

Le 16, commencement d'ascension;

Du 16 au 15 décembre, ascension de 11 mètres.

« Ces oscillations, assurément fort étranges, dit » M. Arago (1), tant par leur irrégularité que par leur » étendue, semblent devoir être suivies pendant une » plus longue période avant qu'on puisse se livrer à » leur explication avec quelques chances de succès. »

On ne peut avec aucune vraisemblance attribuer au voisinage de la mer ces oscillations irrégulières de la fontaine de La Rochelle, pas plus peut-être qu'il ne faudrait lui attribuer la salure des eaux d'un puits percé à Rouen, à 175 pieds de profondeur, quoique cependant, pour ce dernier cas, il puisse exister quelques rapports. Souvent, quand les puits artésiens sont rapprochés des côtes, le mouvement de la marée a une influence très-marquée sur le niveau ou l'abondance des eaux. Elles montent ou augmentent pendant le flux, s'abaissent ou diminuent au reflux. M. Baillet a constaté la

(1) Arago, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835, p. 252.

différence de niveau pour la fontaine jaillissante de Noyelle-sur-Mer, département de la Somme, et l'on voit à Fulham, près de la Tamise, dans une propriété de l'évêque de Londres, une fontaine forée à 97 mètres de profondeur, qui donne 363 ou 273 litres d'eau par minute, suivant que la marée est haute ou basse (1) : les mêmes influences s'exercent sur les fontaines naturelles qui sont en communication avec les eaux de la mer. Dans l'un et l'autre cas, voici l'explication très-simple qu'en donne M. Arago (2) :

« Si l'on pratique dans la paroi d'un vase de forme » quelconque rempli de liquide, une ouverture dont » les dimensions, *comparées à celles du vase*, soient » *très-petites*, l'écoulement qui s'opérera par cette ou- » verture, n'altérera pas sensiblement l'état initial des » pressions. Deux, trois, dix ouvertures, pourvu qu'en » somme elles satisfassent toujours à la condition d'être » très-petites, laisseront, de même, les pressions exer- » cées en chaque point du vase un peu éloigné de ces » ouvertures, ce qu'elles étaient dans l'état d'équilibre, » ce qu'elles étaient quand le liquide n'avait aucun » mouvement. Supposez maintenant l'ouverture ou les » ouvertures un peu grandes, et tout sera changé; et » les dimensions qu'on leur donnera régleront les pres- » sions en chaque point; et si l'une des ouvertures di- » minue de grandeur, la vîtesse d'écoulement augmen- » tera aussitôt dans les autres.

» Ces principes, parfaitement démontrés de l'hydro- » dynamique, s'appliqueront sans effort au phénomène » qui nous occupe.

---

(1) Arago, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835, p. 231.
(2) *Id.*, p. 231.

» Admettons que la rivière souterraine où va s'alimenter une fontaine artésienne, se décharge, aussi » partiellement, dans la mer ou dans un fleuve sujet » au flux et au reflux, et cela par une ouverture *un* » *peu grande*, comparée à ses propres dimensions. » D'après ce que nous venons de dire, si cette ouverture diminuait, la pression s'accroîtrait aussitôt dans » tous les points des canaux naturels ou artificiels que » les eaux de la rivière remplissent; l'écoulement par » le trou de sonde deviendrait donc plus rapide, ou » bien le niveau de l'eau s'élèverait dans les buses. Or, » tout le monde comprendra qu'amener la haute mer » sur l'ouverture par laquelle une rivière souterraine » se décharge, c'est diminuer, par une augmentation » de la pression extérieure, la quantité d'eau de cette » rivière qui pourra s'écouler en un temps donné. » L'effet est précisément celui qu'une diminution d'ouverture eût produit; ainsi la conséquence doit être la » même : le flux et le reflux de la mer détermineront » donc un flux et un reflux correspondant dans la » source artésienne. Telle est, en réalité, le phénomène observé à Noyelle et à Fulham. »

Pour terminer ce que nous pouvons dire des puits artésiens dans un ouvrage de géographie physique, il nous resterait encore à parler de la composition de leurs eaux et de leur température; mais comme, sous tous ces rapports, ce que nous avons dit des sources naturelles s'applique maintenant à ces fontaines que l'homme a imitées de la nature, nous n'avons donc rien à ajouter à ces détails, et nous renverrons pour le reste au chapitre qui traitera de la température du globe, et à celui dans lequel nous étudierons les eaux minérales.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES COURS D'EAU.

L'eau qui est sortie des sources et celle qui glisse immédiatement sur le sol par son propre poids, obéit aux lois de la pesanteur, et suit les pentes du terrain. Le point de jonction de deux pentes opposées détermine le lit que suivent ces eaux pour former les *ruisseaux*, les *torrens*, les *rivières* et les *fleuves*, en sorte que l'eau des pluies ou des sources qui tombe sur le sommet des montagnes vient, après une foule de détours, se réunir dans le vaste bassin de l'Océan, réceptacle commun d'où elle s'évapore encore pour circuler de nouveau.

Les ouvrages de géographie sont loin d'être d'accord sur la définition que l'on doit donner de ces différens cours d'eau; mais heureusement la chose n'est pas d'une grande importance, et la description générale d'un ruisseau peut presque toujours s'appliquer à une rivière et souvent à un fleuve. Voici cependant les définitions le plus généralement admises.

Un *ruisseau* est l'eau d'une source qui s'est creusé un lit ordinairement peu étendu en longueur, assez étroit, peu profond, et qui s'écoule avec plus ou moins de rapidité. Si la pente est forte, si le ruisseau, souvent à sec, n'est alimenté que de temps en temps par des pluies ou la fonte des neiges, il prend le nom de *torrent*; s'il tombe d'un lieu élevé, il forme une *cascade*; un obstacle vient-il à arrêter ses eaux, elles s'accumulent et produisent un *lac*; mais si le terrain où elles s'arrêtent

est plat, s'il n'a pas de pente, elles y séjournent et forment un *marais*.

Une *rivière* est la réunion de plusieurs ruisseaux; sa largeur est plus grande, son lit plus profond; mais tel cours d'eau qui n'est qu'un ruisseau dans une saison, peut devenir une grande rivière dans une autre.

On a réservé le nom de *fleuve* à la réunion de plusieurs rivières qui vont ensemble verser leurs eaux dans la mer après un cours prolongé sur un continent; car, dans une île, quelle que soit l'étendue d'un cours d'eau qui va directement se jeter dans la mer, il ne prend jamais le nom de fleuve. Il existe des rivières et même de faibles ruisseaux qui se versent aussi dans la mer sans qu'on ait jamais songé à leur donner le nom de fleuve; en sorte qu'il n'existe réellement aucune définition exacte de ces objets. Nous les étudierons collectivement sous le nom de *cours d'eau*.

Les cours d'eau permanens proviennent toujours de sources; mais, comme nous venons de le dire, ils peuvent accidentellement être augmentés par les eaux sauvages qui glissent à la surface du sol après les grandes pluies, ou lorsqu'un vent chaud vient tout-à-coup fondre les neiges. Ils sillonnent la majeure partie des continens, et forment, comme on peut le voir sur une bonne carte géographique, une sorte de réseau dont tous les filets se réunissent en plusieurs branches principales pour se rendre dans l'Océan.

Les fleuves ont nécessairement des *bassins* ou *régions hydrographiques* très-étendus, puisqu'ils sont formés de la réunion d'une infinité de bassins particuliers, de rivières ou de ruisseaux; quelquefois les arêtes de ces bassins sont tracées par des chaînes de montagnes qui marquent nettement la ligne de partage des eaux; mais il ne faudrait pas en conclure que le sol est toujours très-

élevé au point de séparation de ces bassins ; il arrive même qu'il n'y a pas la moindre élévation, et que les terrains tributaires de deux fleuves différens ne séparent ces derniers que d'une très-petite distance. Les observations de La Condamine, et plus tard celles de M. de Humboldt ont constaté que les deux grands bassins de l'Orénoque et des Amazones, dont le dernier occupe une étendue qui égale quinze fois celle de la France, communiquaient par le Cassiquiari et plusieurs autres rivières. En Europe, les sources de la Dwina, du Niemen et du Borysthène se confondent, pour ainsi dire, au milieu d'un vaste marais. Ce sont pourtant toujours les points les plus élevés des continens qui donnent naissance aux cours d'eau ; aussi voit-on les groupes de montagnes servir de centre ou de point de départ à une foule de ruisseaux quelquefois très-considérables dès leur naissance, et qui conservent leur nom jusqu'à la mer. Ainsi, la Garonne vient du sommet élevé des Pyrénées ; les sources du Rhin sont dans la partie orientale du mont Saint-Gothard, à une élévation de près de 2,000 mètres ; celles du Rhône sont dans les Alpes, sur la montagne de la Fourche, à une élévation de 1,800 mètres.

On compte environ 600 fleuves sur le globe, c'est-à-dire que l'eau qui s'écoule des continens dans le bassin des mers, y arrive par 600 ouvertures ou 600 conduits principaux. L'eau qu'ils portent ensemble dans l'Océan forme une masse énorme que Buffon a essayé d'évaluer par le calcul : en supposant, dit-il, que l'Océan ait partout une profondeur moyenne de 460 mètres, il faudrait 812 ans pour qu'ils puissent remplir ce vaste bassin.

Les principaux fleuves de l'Europe sont le *Volga*, qui se jette dans la mer Caspienne ; le *Danube* et le *Nie-*

per, dans la mer Noire ; le *Don*, dans la mer d'Azof ; la *Dwina*, dans la mer Blanche, au-dessous d'Archangel.

A ces fleuves il faut joindre ceux de l'Asie septentrionale, qui coulent du sud au nord pour se jeter dans la mer Glaciale.

Mais ces grands cours d'eau, dont plusieurs ont 500 lieues d'étendue, sont bien moins considérables que beaucoup d'autres fleuves d'Asie, tels que le *Gange* et l'*Indus*, tels que le *Hoang* et le *Kiang*, qui prennent naissance sur la croupe orientale du Tibet, et coulent à l'est pour aller se jeter dans la mer du Japon, après avoir traversé toute la Chine. Le fleuve *Amour*, qui vient de la partie orientale de la grande chaîne de la Sibérie pour verser ses eaux dans la mer du Kamschatka, et le *Nil* qui semble fuir l'Abyssinie pour venir se jeter directement dans la mer, sont encore deux fleuves des plus importans de l'ancien continent ; mais ces fleuves sont moins considérables encore que ceux du Nouveau-Monde, parmi lesquels on distingue surtout l'*Amazone*, le *Saint-Laurent*, et le *Mississipi*, le plus puissant de tous, dont les immenses rivières de l'*Ohio* et du *Missouri* ne sont que des affluens.

Quant à nos petits fleuves, tels que le *Guadalquivir*, la *Guadiana*, le *Douero* et l'*Ebre*, en Espagne ; le *Tibre* et le *Pô*, en Italie ; le *Rhône*, la *Garonne*, la *Loire* et la *Seine*, en France ; l'*Elbe*, l'*Oder*, la *Vistule* et le *Rhin* lui-même, qui vont verser leurs eaux dans mer du Nord, ils sont bien peu de chose si on les compare à ceux que nous venons de citer.

Les cours d'eau sont presque toujours divergens au sommet des massifs hydrographiques, qui sont le plus souvent le point de départ d'un certain nombre de ruisseaux, tandis que dans les plaines ils affectent une sorte de parallélisme déterminé par les pentes prolongées du

terrain. En général, il n'y a rien de fixe sur la direction des cours d'eau, même des grands fleuves. Rarement le cours d'une rivière est direct; on y rencontre toujours un grand nombre de sinuosités : cela tient aux obstacles que présente le terrain et qui renvoient l'eau dans une autre direction; cela tient aussi à la nature des roches et du terrain où coule la rivière. Quand ce terrain est mobile, elle l'entraîne facilement et creuse son lit en ligne directe; mais s'il devient plus dur ou composé de roches cristallisées, difficiles à entamer, l'eau se détourne, suit la route qui lui offre le moins de difficultés, et allonge ainsi son cours par une foule de détours qui décuplent quelquefois sa longueur.

C'est souvent sur la limite de deux terrains dont la nature géologique est différente, que l'eau creuse son lit, parce qu'elle y trouve déjà une sorte de fissure naturelle qu'elle ne fait qu'agrandir. Cette cause, jointe à la position des collines, détermine souvent les nombreux détours du cours d'eau. On en voit un exemple sur la *Seine*. Celle-ci, arrivant, au sortir de Paris, contre les hauteurs de Meudon, s'y trouve arrêtée et se dirige vers les hauteurs opposées qui règnent d'Épernay à Argenteuil; là, étant de nouveau repoussée, elle vient baigner la base des coteaux de Marly; elle s'écoule ensuite vers les côtes de Cormeil, et de là vers celles d'Otty, et ainsi de suite successivement, produisant une série de détours que Desmarest désignait sous le nom d'*oscillations*.

La longueur, la largeur, la profondeur et la vîtesse d'un fleuve sont les élémens qui déterminent sa puissance; mais on prévoit d'avance qu'ils peuvent se combiner de différentes manières, et que deux d'entr'eux, la largeur et la vîtesse, doivent souvent se compenser et se trouver en raison inverse l'un de l'autre.

Le fleuve dont le cours est le plus long est celui des Amazones. Sa longueur égale presque le diamètre entier de la terre; elle est de 980 lieues de 20 au degré, et l'on remonte son cours à la voile sur une longueur de 750.

Le Mississipi a 560 lieues en mesurant sa branche principale, et 815 en remontant jusqu'aux sources du Missouri (1).

Le Volga, le plus grand fleuve de l'Europe, le seul que l'on puisse comparer aux fleuves de l'Amérique, déploie son cours sur une étendue de 650 lieues.

Le Rio de la Plata a 530 lieues en remontant par le Rio-Paraguay.

L'Indus a un cours de 510 lieues; le Danube 450; le Gange 426, et l'Orénoque 420, pour la partie connue seulement. Le Don parcourt 400 lieues, le Nieper 340, et la Dwina 300.

L'Irtyche, rivière de Sibérie, se jette dans l'Ob, après un trajet de 500 lieues.

Le nombre des affluens de ces fleuves est considérable; on est loin de les bien connaître tous; mais pour ceux d'Europe seulement, le Danube en reçoit 30, le Volga 32, le Don 6, le Nieper 19, la Dwina 12, et plusieurs de ces affluens sont des rivières très-considérables. Qu'on juge après cela de l'immense réseau d'eaux courantes qui sillonnent la surface du globe, en occupant tous les lieux bas sous forme de troncs élargis, qui divisent leurs rameaux à l'infini et les appliquent comme de nombreuses racines sur les flancs des montagnes pour y puiser l'eau qu'y versent continuellement les

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 388.

pluies et les brouillards! Admirable circulation, qui entretient la vie à la surface du globe et qui mine lentement la croûte extérieure de notre planète.

La largeur de quelques fleuves n'est pas moins remarquable que la longueur prodigieuse de leur cours. Il est peu de personnes qui n'aient vu l'embouchure d'un de nos petits fleuves dans l'Océan, ou du moins celle de la Seine; que l'on juge, d'après cette miniature, de l'étendue des canaux qui versent l'eau des grands fleuves d'Amérique ou d'Asie.

En mesurant la largeur de l'Orénoque, entre les îles appelées *Isla de la Uruana* et *Isla de la Manteca*, M. de Humboldt l'a trouvée, par les hautes eaux, de 2674 toises, qui font près de quatre mille marins : c'est huit fois la largeur du Nil à Manfalout et Syout, et cependant il était à cent quotorze lieues de distance de la bouche de l'Orénoque (1).

Plus bas, entre l'embouchure de l'Apure et le rocher Curiquima, le même savant, frappé de l'extrême largeur de l'Orénoque, l'a déterminée au moyen d'une base mesurée deux fois sur la plage occidentale. Le lit de l'Orénoque, dans son état actuel des basses eaux, avait 1906 toises de large; mais cette largeur atteint jusqu'à 5517 toises, lorsque, dans les temps de pluies, le rocher de Curiquima et la ferme du Capuchino, près de la colline de Pocopocori, deviennent des îles (2).

C'est encore à M. de Humboldt que nous empruntons les détails suivans sur la largeur des fleuves :

« L'Orénoque, comme l'Amazone, le Nil et toutes

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 301.

(2) *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 250.

» les rivières qui se partagent en plusieurs branches,
» n'a pas une embouchure aussi grande qu'on devrait
» le supposer d'après la longueur de son cours et la
» largeur qu'il conserve à quelques centaines de lieues
» dans l'intérieur des terres. On sait, par les obser-
» vations de Malaspina, que le Rio de la Plata, de-
» puis Punta del Este près de Maldonado jusqu'au Cabo
» san Antonio, a plus de 124 milles (41,3 lieues de
» large); mais en remontant vers Buenos-Ayres, cette
» largeur diminue si rapidement, que, vis-à-vis la
» *Colonia del Sacramento*, elle n'est déjà plus que de
» 21 milles (7 lieues). Ce que l'on appelle communé-
» ment l'embouchure du Rio de la Plata n'est qu'un
» golfe dans lequel se jettent l'Uraguay et le Parana,
» deux fleuves d'une largeur moins considérable que
» l'Orénoque. Pour exagérer la grandeur de l'embou-
» chure de l'Amazone, on regarde comme situées dans
» cette embouchure les îles Marajo et Caviana, de
» sorte que l'on trouve, depuis la Punta Trigiola jus-
» qu'au Cabo del Norte, l'immense largeur de 3° $\frac{1}{2}$
» ou 70 lieues.

» Entre Macapa et la rive occidentale de l'île Ma-
» rajo (Ilha de Joanes), l'Amazone proprement dit est
» divisé en deux branches qui, ensemble, n'ont que
» 32 milles (11 lieues) de large (1). »

Il est bien difficile de déterminer la profondeur des fleuves, parce qu'ils charrient continuellement des parties terreuses qui font varier leur lit, et ensuite parce que cette profondeur change à chaque instant. La largeur, dont nous venons de parler, est aussi un carac-

(1) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 385.

tère sujet à de bien grandes variations; car, indépendamment des crues extraordinaires ou périodiques auxquelles tous les cours d'eau sont assujettis, une foule d'obstacles, en s'opposant à leur marche, doivent faire varier ces caractères pour ainsi dire à chaque pas. Si les bords ne présentent aucune résistance, il s'élargit beaucoup, et perd souvent en vîtesse et en profondeur ce qu'il gagne en extension. Si, au contraire, il est bordé de rochers durs et rapprochés, sur lesquels son action séculaire n'a pu qu'avec peine lui frayer un passage, on conçoit que son lit doit se rétrécir, augmenter en profondeur, et le courant doit gagner en vîtesse ce qu'il perdait auparavant en s'étendant sur un plus vaste espace. C'est ce qui rend assez difficile la détermination de la quantité d'eau que chaque fleuve laisse couler dans un temps donné. On a cependant essayé quelques calculs sur cet objet; ainsi, M. Escher a calculé que la quantité d'eau que le Rhin porte devant Bâle s'élève, année commune, à 1,046,763,676 de cubes de 1000 pieds cubes chacun.

Au port de Syout en Egypte, M. Girard a trouvé le volume du Nil de 678 mètres cubes par seconde, pendant les basses eaux, et de 10,247 mètres cubes lors des inondations (1).

On évalue à 180,000 pieds cubes la quantité moyenne d'eau que le Gange verse chaque seconde dans la mer. On conçoit facilement quels sont les élémens nécessaires pour calculer la quantité d'eau que donne un fleuve dans un lieu et un temps donnés, et la nature de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer à cet égard dans

---

(1) Girard, *sur la vallée d'Egypte*, p. 13.

des considérations pratiques, mais nous ferons cependant quelques observations qui se rattachent à notre sujet.

La vîtesse d'un cours d'eau n'est pas la même à toutes les profondeurs; le filet de vîtesse moyenne est d'autant plus rapproché du fond que la paroi du lit est plus irrégulière et plus embarrassée de divers obstacles, et lorsque cette paroi est une surface lisse et continue, le filet de plus grande vîtesse se trouve toujours à la surface. C'est du moins ce qu'a observé M. de Fontaine pour le Rhin. On lui doit encore une autre observation très-curieuse, c'est que la ligne qui indique la surface de la coupe transversale d'un courant d'eau n'est pas toujours une ligne horizontale. Elle n'a cette forme que dans l'état de l'*étale* ou état permanent de hauteur d'eau; elle est curviligne convexe lorsque le fleuve est en crue, et curviligne concave lorsqu'il est en baisse.

La vîtesse des cours d'eau est d'abord déterminée par la pente seulement, et, à quelques exceptions près, elle est bien plus grande pour les ruisseaux que pour les fleuves. Mais bientôt l'impulsion se communique et s'ajoute à la pente, en sorte que des fleuves considérables coulent avec une pente si faible qu'on peut, dans certains cas, la considérer comme nulle, au point que les eaux paraissent stationnaires, tout en conservant cependant un léger mouvement proportionné à l'impulsion qu'elles reçoivent et à l'inclinaison de leur lit. Cette impulsion devient considérable dans les grands fleuves de l'Inde et de l'Amérique, lors des crues périodiques qui triplent souvent le volume de leurs eaux : on les voit alors marcher bien plus vîte que ne le permettrait leur pente, si une énorme pression ne venait accélérer leur mouvement.

M. de Humbold a trouvé la pente de l'Orénoque de

3 pouces et $\frac{1}{4}$ par mille marin de 950 toises (environ 8 pouces par lieue). Des mesures prises sur le Gange, dans une étendue de vingt lieues, ont donné aussi 8 pouces par lieue, tandis que la vîtesse était de une, deux et même près de trois lieues à l'heure, selon la sécheresse ou l'abondance des pluies.

La pente du fleuve de la Magdeleine, dans l'Amérique Méridionale, n'est que de 5 pieds par lieue.

Dans certains endroits, le Danube n'a pas 18 pouces de pente pour la même distance.

Le fleuve des Amazones est presque horizontal. On ne lui donne que dix pieds de pente sur deux cents lieues, ce qui fait $\frac{1}{29}$ de pouce sur 1,000 pieds; et cependant en mars, qui est la saison des pluies, il s'élance dans l'Atlantique avec une telle force, que ses eaux sont encore visibles à 120 lieues de l'embouchure, et leur courant y est encore sensible.

La pente de nos rivières ou de nos petits fleuves d'Europe est bien plus forte que celles que nous venons de citer, quoique très-faible encore en certains endroits. La Seine, depuis la Bourgogne jusqu'à Paris, n'a que 2 pieds de pente par lieue de 2000 toises. Sa vîtesse, dans les basses eaux, est de 0^{m}, 6 par seconde (celle d'un homme qui se promène est de 1^{m} 3 pour le même temps), et elle devient, d'après Picard, trois fois plus grande dans les inondations.

La Loire, entre Pouilly et Briare, a un pied de pente sur 1,250, et un sur 2,266 entre Briare et Orléans (1). Le Rhin entre Schaffouse et Strasbourg descend 4 pieds par mille géographique, et 2 pieds seulement entre Strasbourg et Schenckenschantz, tandis que le Rhône

(1) Maltebrun, t. II, p. 301.

offre une différence de niveau de 5 mètres par lieue.

Ces grandes inégalités qui existent dans l'inclinaison du lit des rivières et des fleuves, expliquent comment un cours d'eau peut arriver dans un autre sans augmenter sa largeur, mais en accélérant son cours; on conçoit aussi que leurs eaux marchent long-temps à côté l'une de l'autre sans se mélanger, et si une rivière rapide vient, sous un angle aigu, s'ouvrir dans une autre, elle pourra momentanément lui opposer une digue, arrêter son cours et la faire refluer vers sa source jusqu'à ce que ses eaux aient acquis derrière ce rempart mobile une puissance capable de le vaincre ou de le compenser, c'est ce qui est arrivé plusieurs fois au Rhône, comme le rapporte Saussure (1) : « L'Arve est » sujette à des crues subites et considérables; on l'a » vue quatre fois s'enfler à tel point que ne pouvant » pas s'écouler assez promptement entre les collines » qui la resserrent au-dessous de sa jonction avec le » Rhône, les eaux du torrent refluèrent dans le lit du » fleuve, le forcèrent à remonter avec elles contre le » lac, et firent tourner à contre-sens les moulins cons- » truits sur le Rhône. » Une lutte analogue s'établit aussi à l'embouchure des grands fleuves contre les eaux de la mer, ainsi que nous l'avons vu tout à l'heure pour celles de l'Amazone, dont les eaux douces s'étendent au loin. Ici le fleuve est plus fort, tandis qu'en France l'eau salée remonte quelquefois très-loin des côtes où nos petites rivières vont s'ouvrir. Le vent lui-même peut produire un effet semblable, comme on l'a vu plusieurs fois à Saint-Pétersbourg, sur la Newa.

---

(1) *Voyages*, t. I, § 16, p. 13.

DES CRUES PÉRIODIQUES DES COURS D'EAU.

La plupart des cours d'eau sont soumis à des crues accidentelles qui souvent occasionnent de désastreuses inondations. On sent très-bien que de tels accidens ne peuvent provenir d'une augmentation de puissance dans les sources, mais de l'abondance des pluies et de la fonte des neiges. Ces phénomènes n'ont rien de constant dans nos climats. Les rivières débordent au moment où l'on s'y attend le moins, et ces débordemens, plus fréquens en été qu'en hiver, sont tellement accidentels, que souvent un ruisseau inonde un grand espace de terrain; tandis qu'un autre coule à côté dans son lit ordinaire. Il n'en est pas de même pour les cours d'eau qui sont situés sous la zône torride. Les contrées dans lesquelles ils prennent naissance sont placées sous un climat tout différent du nôtre; des pluies très-abondantes et de longue durée gonflent les fleuves ou leurs affluens, dont les eaux bourbeuses charrient une masse énorme de débris et de limon.

On sait depuis long-temps que l'Egypte ne doit sa fertilité qu'aux débordemens périodiques du Nil; mais un grand nombre de fleuves, et notamment tous les grands cours d'eau de l'Amérique, s'élèvent et s'abaissent comme lui à des époques déterminées. Il est difficile de se faire une idée de la masse d'eau que contiennent les fleuves à cette époque. Le Nil, jaugé au port de Syout par M. Girard, lui a donné, comme nous l'avons déjà dit, un *minimum* et un *maximum* de 678 et 10,247 mètres cubes par seconde, c'est-à-dire que ce fleuve non débordé n'est qu'une légère fraction de lui-même à l'époque des crues, puisqu'il fait plus que décupler son volume. Ce fleuve monte de 30 à 35 pieds

dans la Haute-Egypte, de 25 pieds au Caire, et de 4 pieds dans la partie septentrionale du Delta. Les pilotes étrangers admettent 90 pieds pour les crues ordinaires dans le bas Orénoque (1), et l'on ne peut se figurer l'immensité des nappes d'eau qui couvrent alors plusieurs parties de l'Amérique. De grands bâtimens remontent depuis l'Angostura jusqu'à San-Fernando de Apure, et par le Rio Santo-Domingo jusqu'à Torunos, le port de la ville de Varinas. A cette même époque, les inondations des rivières, qui forment un dédale d'embranchemens entre l'Apure, l'Arauca, le Capanaparo et le Sinaruco, couvrent un pays de près de quatre cents lieues carrées (2). Les forêts sont inondées, on les parcourt en canots, et les poissons viennent nager au milieu des buissons qui, plus tard, supporteront les nids des oiseaux.

C'est toujours à une époque réglée que les inondations ont lieu. Il y a déjà 250 ans que des colons européens sont établis près des bouches de l'Orénoque; et pendant ce long espace de temps, d'après une tradition qui s'est propagée de génération en génération, les oscillations périodiques du fleuve (l'époque du commencement des crues et celle où elles atteignent le *maximum*) n'ont jamais retardé de plus de douze à quinze jours (3).

« La cause des crues périodiques de l'Orénoque agit également sur tous les fleuves qui naissent sous la zône torride. Après l'équinoxe du printemps, la

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 406.

(2) Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 165.

(3) Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 609.

cessation des brises annonce la saison des pluies; l'accroissement des rivières, que l'on peut considérer comme des *ombromètres* naturels, est proportionnel à la quantité d'eau qui tombe dans les différentes régions. Au centre des forêts du haut Orénoque et du Rio Negro, cette quantité paraît excéder 90 à 100 pouces par an; aussi, ceux des naturels qui ont vécu sous le ciel brumeux de l'Esmeralda et de l'Atabapo, savent, sans avoir la moindre notion de physique, ce que savaient jadis Eudoxe et Eratosthène, que les inondations des grands fleuves sont dues aux seules pluies équatoriales. »

Voici ce que dit M. de Humboldt de la marche ordinaire des oscillations de l'Orénoque : « On s'aperçoit, aussitôt après l'équinoxe du printemps (le peuple dit le 25 mars), du commencement des crues. Elles ne sont d'abord que d'un pouce par 24 heures; quelquefois la rivière baisse de nouveau en avril; elle atteint son *maximum* en juillet, reste pleine (au même niveau) depuis la fin de juillet jusqu'au 25 août; puis elle décroît progressivement, mais avec plus de lenteur qu'elle n'a augmenté. Elle est à son *minimum* en janvier et février. Dans les deux mondes, c'est à peu près à la même époque que les rivières de la zône torride boréale parviennent à la plus grande hauteur. Le Gange, le Niger et la Gambie atteignent le *maximum*, comme l'Orénoque, dans le mois d'août. Le Nil retarde de deux mois, soit à cause de quelques circonstances locales dans le climat de l'Abyssinie, soit à cause de la longueur de son cours, depuis le pays de Berber, ou les 17° de latitude, jusqu'à la bifurcation du *Delta*. Les géographes arabes assurent que, dans le Sennaar, et en Abyssinie, le Nil se gonfle dès le mois d'avril (à peu près comme l'Orénoque); cependant les crues ne

deviennent sensibles au Caire que vers le solstice d'été; elles atteignent la plus grande hauteur à la fin du mois de septembre; la rivière se maintient au même niveau jusqu'à la mi-octobre; elle est au *minimum* d'avril en mai, à une époque où les fleuves de la Guyane commencent déjà à gonfler.

On voit par cet exposé rapide, que, malgré le retard causé par la forme des canaux naturels et par des circonstances climatériques locales, le grand phénomène des oscillations des rivières de la zône torride est le même partout (1).

DE L'EMBOUCHURE DES FLEUVES.

Un fleuve commence à une source et se termine dans la mer. Nous venons de voir les phénomènes que nous présente son cours; étudions maintenant les particularités que l'on remarque à son *embouchure*. On sait qu'on nomme ainsi le point de réunion d'un fleuve avec la mer, tandis qu'on donne le nom de *confluent* à toute jonction de deux cours d'eau. Il arrive quelquefois que certains cours d'eau n'ont ni confluent ni embouchure, c'est-à-dire qu'ils se perdent tout-à-coup dans l'intérieur des terres ou dans des cavernes. Nous reviendrons sur cet objet en parlant des eaux souterraines.

Lorsque deux rivières se joignent, on peut quelquefois les suivre de l'œil après leur mélange, par la couleur différente des eaux; c'est ce qui arrive souvent à Lyon pour le Rhône et la Saône. La même chose a

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxioles*, t. VIII, p. 399.

lieu quand un fleuve se jette dans mer. Nous avons déjà parlé de l'Amazone, qui semble couler encore dans l'Océan, ayant pour rives l'eau salée avec laquelle elle semble ne se mêler qu'à regret. Le Danube présente en petit le même phénomène que renouvelle encore la petite rivière Syre, en Norwège (1). Malgré l'impulsion qui lance ainsi ces eaux douces dans la mer, le flux se fait sentir avec une grande intensité à l'embouchure de la plupart des fleuves, et la marée montante s'élève à une grande distance du rivage dans l'intérieur des terres. Ainsi, dans l'Indus, elle remonte à 25 lieues, et à 50 dans le Gange. Dans l'Orénoque, le flux et le reflux se font sentir au mois d'avril, lorsque la rivière est la plus basse, jusque au delà de l'Angostura, à la distance de plus de 85 lieues dans l'intérieur des terres. Au confluent du Carony, à 60 lieues des côtes, les eaux s'élèvent par refoulement à 1 pied 3 pouces de hauteur (2).

Dans l'Amazone, à la même époque, elles sont encore sensibles à 200 lieues. Il est vrai que sur cette énorme distance sa pente n'est que de quelques pieds; mais les oscillations des marées remontent comme sur un plan incliné bien au-dessus du niveau auquel se maintiennent les eaux de la mer à l'embouchure des fleuves. C'est un fait qui a été parfaitement démontré pour la Garonne. Le vent, soufflant avec force, ajoute quelquefois à cette puissance des marées et oppose une barrière insurmontable aux eaux des fleuves; elles augmentent alors avec une incroyable rapidité, et causent

---

(1) Pontoppidan, *Hist. nat. de la Norwège*, t. I, p. 145.

(2) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 389.

de grands désastres dont la Newa a souvent donné des exemples, en jetant des vaisseaux sur les quais de St-Pétersbourg, et en inondant la ville presque entière, comme cela est arrivé en 1824.

Il résulte souvent de cette lutte des eaux qui descendent des continens et de celles que la marée soulève, un phénomème particulier que l'on désigne sous le nom de *barre*; on le remarque à l'embouchure de la Seine, de l'Orne, du Gange, etc. Il consiste en ce qu'au moment du flux, une ou plusieurs vagues, quelquefois très-élevées, s'avancent avec impétuosité contre les eaux douces, et les font refluer à des distances souvent très-grandes. La disposition des rives du fleuve, et probablement des sables amoncelés à son entrée, contribuent à former la barre qui, dans quelques localités, acquiert une certaine violence. C'est ce qui arrive pour la Gironde, au-dessous de Bordeaux, où l'on voit la barre, plus connue sous le nom de *Mascaret*, rouler en arrière, inonder les rivages et balotter les vaisseaux. On la voit aussi remonter le fleuve Zaire, en Afrique; mais, tandis qu'il s'établit sur ses deux rives deux courans onduleux qui remontent vers sa source, les eaux du milieu continuent de couler dans la mer, en sorte que l'effet de la marée ne doit pas se faire sentir bien loin dans l'intérieur des terres.

« Le plus beau phénomène de ce genre, dit Maltebrun, est celui qu'offre le géant des fleuves, l'Orellana ou rivière des Amazones. Deux fois par jour il verse ses ondes, ou pour mieux dire, ses mers prisonnières, dans le sein de l'Océan; une montagne liquide s'élève à la hauteur de 30 toises; elle se rencontre assez souvent avec la marée montante de la mer; le choc terrible de ces deux masses d'eau fait trembler toutes les îles d'alentour; les pêcheurs, les navigateurs s'éloi-

gnent avec effroi. Le lendemain ou le surlendemain de chaque nouvelle ou pleine lune, temps où les marées sont les plus fortes, l'Orellana semble aussi redoubler de puissance et d'énergie; ses eaux et celles de l'Océan se précipitent au combat comme deux armées; les rivages sont inondés de leurs flots écumeux; les rochers, entraînés comme des galets légers, se heurtent sur le dos de l'onde qui les porte; de longs mugissemens roulent d'île en île : on dirait que le génie du fleuve et le dieu de l'Océan se disputent l'un à l'autre l'empire des flots. Les Indiens désignent ce phénomène sous le nom de *Pororoca* (1). »

Les fleuves forment aussi, à leur embouchure, des dépôts puissans de tous les matériaux qu'ils charrient. Tantôt ce sont des bancs de sable que déposent les eaux, tantôt des forêts entières qu'ils amoncèlent et qu'ils compriment sous des masses de galets; d'autrefois ce sont des terrains ou de vastes deltas, qui chaque année s'agrandissent, et forment des terres vierges et fertiles dont l'homme vient s'emparer. Nous reviendrons plus loin sur ces importantes considérations.

---

(1) Malterrun, t. II, p. 307.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES CHUTES D'EAU.

La différence de niveau qui existe quelquefois dans le sol, donne naissance à des chutes d'eau d'autant plus remarquables que cette différence est plus grande et plus brusque, et que la masse d'eau est plus considérable : on donne à ces chutes le nom de *cascade*, de *sauts, chutes*, *cataractes* ou *rapides*; dont nous avons déjà donné la définition. On rencontre principalement les chutes au point de jonction de deux terrains différens, sur le bord des terrains primitifs, aux points de réunion des terrains de sédiment; sur les bords des plateaux basaltiques, des coulées volcaniques dont l'épaisseur forme ordinairement la hauteur de la chute.

Lorsqu'il y a tout-à-coup solution de continuité dans le sol, l'eau s'élance et forme une sorte d'arc mobile et transparent, sous lequel on peut passer sans être mouillé; quelquefois même il existe des grottes ou des cavernes assez étendues dans lesquelles on peut pénétrer et d'où l'on peut jouir du singulier spectacle de la cascade. M. de Humboldt en cite un exemple très-remarquable sur les bords de l'un des plus grands fleuves du Nouveau-Monde :

« Ce site offrait une des scènes de la nature des plus
» extraordinaires que nous ayons rencontrées sur les
» bords de l'Orénoque. Le fleuve roulait ses eaux au-

» dessus de nos têtes : on aurait dit de la mer qui se
» brise contre des rescifs; mais, à l'entrée de la ca-
» verne, on pouvait se tenir à sec à l'abri d'une large
» nappe d'eau qui se précipitait en arc au-dessus du
» barrage. Dans d'autres cavités plus profondes, mais
» moins vastes, la roche avait été percée par l'effet des
» infiltrations successives. Nous vîmes des colonnes
» d'eau, de 8 à 9 pouces de largeur, descendre du
» haut de la voûte et trouver une issue par des fentes
» qui semblent communiquer entr'elles à de grandes
» distances.

» Les cascades d'Europe, qui ne présentent qu'un
» saut unique ou plusieurs sauts très-rapprochés, ne
» peuvent donner lieu à des accidens de paysage aussi
» variés. Ces accidens sont propres aux *rapides*, à une
» suite de petites cataractes qui occupent plusieurs
» milles de longueur, à des fleuves qui se tracent
» un chemin à travers des digues rocheuses et des
» blocs superposés (1). »

Si le terrain est étagé, l'eau tombe successivement sur chacun des plans, et s'élance en bouillonnant sur l'étage inférieur, jusqu'à ce qu'elle arrive enfin sur un plan qui lui rende son cours ordinaire. Ce sont ces chutes que l'on désigne plus spécialement sous le nom de *cataractes*. Les plus belles sont peut-être celles de Maypures, sur l'Orénoque; elles n'offrent pas, comme le saut du Niagara, haut de cent quarante pieds, la chute d'un énorme volume d'eau qui se précipite à la fois tout entier; ce ne sont pas non plus des défilés étroits, à travers lesquels le fleuve fuit en accélérant son cours, comme au Pouyo de Manserichi, de la ri-

(1) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinox.*, t. VIII, p. 278.

vière des Amazones; elles se forment d'une quantité innombrable de petites cascades, qui se suivent en tombant de degrés en degrés (1). On en a une vue magnifique de la petite montagne de Manimi.

« Nous avons souvent visité cette montagne, dit » M. de Humboldt, car on ne se lasse point de la vue de » ce spectacle extraordinaire, caché dans un des coins » les plus reculés du monde. Arrivé à la cîme des ro- » chers, les yeux mesurent soudainement une nappe » d'écume d'un mille d'étendue; d'énormes masses de » roches, noires comme le fer, sortent de son sein; » les unes sont des mamelons groupés deux à deux, » semblables à des collines basaltiques; les autres res- » semblent à des tours, à des châteaux-forts, à des » édifices en ruine; leur couleur sombre contraste avec » l'éclat argenté de l'écume des eaux; chaque roche, » chaque îlot est couvert d'arbres vigoureux et réunis » par bouquets. Du pied de ces mamelons, aussi loin » que porte la vue, une fumée épaisse est suspendue » au-dessus du fleuve; à travers le brouillard blanchâ- » tre s'élance le sommet des hauts palmiers (2). »

Enfin, on voit aussi plusieurs chutes dans lesquelles les eaux glissent sur une pente rapide, sans s'en écarter.

« Les rapides ne s'opposent pas toujours à la navi- » gation; s'il est impossible de les remonter, on peut » quelquefois les descendre et les franchir. Le sauvage » dans son canot d'écorce, le créole dans une chaloupe » élégante et légère, le commerçant dans sa barque » chargée des productions agricoles et de celles de l'in- » dustrie, s'élancent sans crainte sur cette espèce de

(1) Humboldt, *Tableaux de la nature*, t. I, p. 242.
(2) Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 170.

5

» gouffre qui semble prêt à les engloutir ; ils regardent » avec indifférence les tourbillons et la vélocité du fleuve » si terrible pour le voyageur étranger à cette naviga- » tion (1). »

Les terrains qui se trouvent soumis à l'action séculaire des eaux qui en enlèvent continuellement des parcelles, diminuent constamment de hauteur; quelque dureté que présentent les rochers, ils finissent par s'user; de gros blocs s'en détachent, entraînés par les eaux, et se précipitent avec elles. La hauteur des cascades doit donc toujours diminuer, et elles avaient sans doute autrefois une élévation qu'elles n'ont plus aujourd'hui. Peut-être dans la suite des siècles regardera-t-on comme des fictions les descriptions du saut du Niagara, des cataractes du Nil, et celles de toutes ces belles cascades des Alpes et des Pyrénées.

En dessous des cascades, au point où l'eau vient frapper le sol, il existe ordinairement une cavité très-profonde qui, dans quelques localités, est creusée dans le roc et forme souvent un bassin d'une seule pièce, dont l'eau ne sort jamais ; mais il arrive aussi assez fréquemment que les blocs détachés et amoncelés par la chute de l'eau, comblent en partie ce bassin et diminuent ainsi sa profondeur.

DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA COMPOSITION DES EAUX COURANTES.

Les eaux qui coulent à la surface du sol changent continuellement de température. Tout le monde sait

(1) Lamouroux, *Résumé d'un cours élémentaire de géographie physique.*

que les rivières s'échauffent beaucoup au soleil, et il en est de même de certains ruisseaux; il faut cependant pour cela qu'ils soient déjà à une certaine distance de leurs sources. Les ruisseaux amènent dans les rivières des eaux dont la température est différente; les rivières s'échauffent elles-mêmes, et par conséquent la moyenne de température qu'elles présentent ne peut être établie que par des observations continuellement répétées, car un ruisseau peut tout-à-coup y amener de l'eau froide, pendant qu'un autre, arrivant dans une autre direction, y versera un liquide dont la température sera plus élevée. On a remarqué que l'eau dormante s'échauffe bien plus vîte que l'eau courante, et qu'une grande rivière, calme et peu rapide, acquiert bientôt une température plus élevée qu'une petite masse d'eau qui coule avec rapidité, et présente successivement toutes ses surfaces au soleil. Il paraît que dans ce dernier cas, l'évaporation plus grande enlève au liquide la majeure partie de sa chaleur pour la faire passer à l'état latent.

S'il est difficile de prévoir la température d'un cours d'eau, il est plus difficile encore d'en prévoir la nature; car déjà nous avons vu, en parlant des sources, combien leur composition était variée : tant que l'eau n'est qu'à une petite distance de son point de sortie, elle doit avoir sensiblement la même composition; mais quand elle s'en éloigne elle peut perdre par l'évaporation ou par le changement de température les corps gazeux qu'elle contenait; elle peut laisser déposer des principes qu'elle tenait en dissolution en sortant du sol. D'un autre côté, elle peut dissoudre de l'air atmosphérique; elle doit se charger des principes solubles contenus dans le terrain qu'elle parcourt, et entraîner en suspension des matières terreuses, des substances végétales et animales qui

s'y dissolvent en partie. Enfin, si deux eaux contenant des substances antipathiques viennent à se mêler, il en résultera nécessairement des décompositions qui changeront encore la nature du liquide.

L'eau des rivières, et bien plus celle des fleuves, renferme donc une grande quantité de matières diverses, mais elles s'y trouvent contenues en si petite quantité, que la chimie peut à peine les découvrir. Aussi les analyses d'eau courante qui ont été faites, donnent toujours à peu près les mêmes principes et en très-petite quantité. Malgré leur long trajet, malgré tous les terrains qu'ils traversent et les matériaux variés qu'ils reçoivent, les fleuves ont une eau généralement pure, ou du moins contenant peu de matières calcaires. Les sels que l'on y rencontre constamment sont les hydrochlorates qui se trouvent entraînés jusques dans l'Océan, à raison de leur grande solubilité.

CHAPITRE CINQUIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES COURS D'EAU.

L'IMMENSE réseau de cours d'eau qui s'étend sur les continens, offre une énorme puissance d'érosion, continuellement employée à corroder le sol et à charrier ses débris. Aussi l'on voit partout les traces de cette action par la présence de ces cailloux roulés que l'on nomme galets, et qui sont, avec les sables, les principaux dépôts des ruisseaux et des rivières. Partout nous voyons les preuves de ce transport, et surtout à l'embouchure des fleuves.

Les bouches du Danube traversent des bancs qui obstruent son entrée.

Le Pô, en Italie, se forme un petit delta qui s'étend jusqu'à l'Istrie.

Le Rhône, après avoir déposé les débris des Alpes dans le lac de Genève, charrie encore, dans la Méditerranée, les fragmens les terrains qu'il parcourt; son embouchure est presque comblée, ses eaux divisent son delta et y creusent des canaux pour se rendre à la mer.

L'Adour comble son embouchure ; la Garonne y amène une foule de débris qui s'étendent jusque dans l'Océan et lui forment de nouveaux rivages.

Le delta de la Loire envahit Noirmoutiers.

Dans le golfe de Bothnie, la rivière Tornea pousse son delta, et, secondée par les rivières de la Suède et de la Finlande, elle a tellement obstrué le golfe, qu'il n'est plus navigable pour les gros vaisseaux.

Les cours d'eau qui donnent ainsi naissance à de nouveaux terrains, ne creusent donc pas leur lit, comme on le suppose généralement; il est impossible, par exemple, que les grands fleuves aient ouvert eux-mêmes les larges vallées qu'ils arrosent; ils tendent au contraire à les combler, en déposant, pendant leur cours, les nombreux matériaux de transport que les eaux pluviales y conduisent continuellement.

Il est prouvé par des fouilles faites à Coblentz, en 1778, que les bains des Romains, jadis au niveau du Rhin, étaient, à cette époque, à deux ou trois mètres au-dessous de ce niveau. On sait que tous les monumens antiques des rives du Tibre sont actuellement, en tout ou en partie, ensevelis sous les atterrissemens de ce fleuve. Des faits tout aussi incontestables attestent que le Rhône, l'Euphrate, surtout le Nil et les rivières de l'Amérique, encombrent continuellement leur lit en y accumulant les terrains de transport. La raison de cet exhaussement du fond des vallées est fort simple : lorsqu'une rivière a encombré son cours par l'accumulation des matériaux de transport, elle coule à côté ou change entièrement de lit; par ces changemens continuels, elle ne cesse d'exhausser le bord de la vallée dont elle finit ainsi par changer la face entière (1).

Il ne faudrait cependant pas conclure de là que tous les cours d'eau agissent de la même manière; car, du

---

(1) CHAUBARD, *Élémens de Géologie*, p. 162.

moment où une rivière dépose des matériaux, il faut qu'ils aient été pris quelque part, et si elle exhausse en un point, elle a creusé dans un autre. C'est précisément ce que l'on voit tous les jours, et c'est seulement la pente du terrain et la force d'impulsion du cours d'eau qui déterminent l'une ou l'autre de ces deux actions. Si le sol offre une pente rapide, l'eau creuse, corrode et emporte les débris, qu'elle dépose à mesure que sa vîtesse diminue, que la force d'impulsion se ralentit et que le sol a moins d'inclinaison. On conçoit aisément que les fragmens les plus gros sont ceux qui sont entraînés et déposés les premiers; tels sont les blocs de roches et les cailloux roulés, tandis que les graviers, les sables et les parties les plus ténues obéissent plus lentement dans les deux cas à la force de pesanteur qui les entraîne sur une pente et qui les abandonne sur une suface plane. Les vallées des montagnes, ou du moins les ravins qui sillonnent leurs flancs, ont donc souvent été creusés ou du moins agrandis par les eaux, tandis que les grandes vallées continentales sont dues presque toutes à des causes de dislocation que nous étudierons par la suite; ce sont de grandes fissures du globe que les eaux ont en partie comblées. L'action corrosive des fleuves devient pourtant très-remarquable quand ils rencontrent des obstacles, tels que des roches qui s'opposent à leur passage; ils les corrodent et finissent quelquefois par s'y frayer une issue. C'est ainsi que la chaîne des Alleghanis et les Montagnes Bleues, en Amérique, sont traversées par le James, la Susquehanah, la Delaware, etc. Le Potomack traverse également les Montagnes Bleues, et la grande échancrure qu'il y a faite frappa Volney, lors de son voyage en Amérique.

Dans d'autres circonstances, les cours d'eau se sont ouvert des issues souterraines, comme nous le verrons

en parlant des cavernes. Mais ce qui frappe le plus celui qui cherche à démêler la vérité au milieu du désordre apparent de la nature, c'est la faiblesse de nos grandes rivières auprès des anciens cours d'eau.

Tous les fleuves ont laissé des traces incontestables qui témoignent de leur ancienne puissance, et qui prouvent qu'ils remplissaient en entier le bassin des larges vallées où ils ne font que serpenter aujourd'hui. Pazumot a reconnu, par les sillons que portent encore les roches de la forêt de Rougeau, que la Seine les baignait autrefois à 80 pieds plus haut qu'aujourd'hui, et son volume, nécessairement proportionné à cette élévation, l'emportait considérablement sur celui qu'elle présente maintenant.

Que l'on compare aussi le Rhône actuel avec ce qu'il fut dans ces temps reculés où il remplissait de galets quartzeux une vallée de trois ou quatre lieues de large, et que bordent aujourd'hui des collines composées de ces mêmes galets, qui s'élèvent à plus de 300 mètres au-dessus de son lit actuel.

De Saussure était tellement frappé de l'énormité de ces débris, qu'il les attribuait à un grand cataclysme produit par l'irruption des eaux de l'Océan, bien qu'on sache maintenant que la mer n'y est pour rien.

Un des dépôts les plus remarquables de cette nature est celui dont est composée la montagne de Rigiberg, située sur les bords du lac de Lucerne, au débouché de la grande vallée du Muttenthal : elle a 8 lieues de circonférence sur près de 4500 pieds au-dessus de la surface du lac; toute sa masse est composée de cailloux roulés, disposés en couches horizontales, et elle forme une sorte de delta à l'extrêmité du puissant courant qui dut remplir autrefois cette immense vallée.

M. de Humboldt qui a étudié avec tant de sagacité

un monde qui semble moins vieux que notre ancien continent, n'a pas manqué de remarquer cette grande puissance des eaux.

« Ce qui est indubitable, dit-il, ce qui a frappé l'imagination de tous ceux qui habitent ces contrées, c'est qu'à Carichana, à San-Borja, à Atures et à Maypures, là où le fleuve s'est frayé un chemin à travers les montagnes, on voit à cent et quelquefois à cent trente pieds au-dessus des plus hautes crues actuelles, des bandes noires et des érosions qui indiquent l'ancien séjour des eaux. Cette rivière de l'Orénoque, qui nous paraît si imposante et si majestueuse, ne serait donc qu'un reste de ces immenses courans d'eau douce qui, gonflés par des neiges alpines ou par des pluies plus abondantes, partout ombragés d'épaisses forêts, dépourvus de ces plages qui favorisent l'évaporation, traversaient jadis le pays à l'est des Andes, comme des bras de mer intérieurs. Quel doit avoir été alors l'état de ces basses contrées de la Guyane qui éprouvent aujourd'hui les effets des inondatious annuelles? (1) »

Qu'on se rappelle que le bassin de l'Amazone, qui surpasse de quinze fois l'étendue de la France, devait alors être réuni à celui de l'Orénoque, puisque le Cassiquiari et plusieurs autres rivières établissent des relations entr'eux. Qu'on songe que le fleuve St-Laurent, nivelant les grands bassins qu'il remplit encore aujourd'hui, formait, avec le Mississipi, une vaste mer d'eau douce, et l'on verra quelle immense quantité d'eau circulait autrefois sur notre planète; quelle masse de puissance, de force d'érosion, quelle prodigieuse créa-

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 373.

tion de vapeurs, et par suite, quelles sources de pluie et de fluide électrique! Nous verrons plus loin si une élévation de température n'expliquerait pas les merveilles de ces époques reculées.



CHAPITRE SIXIÈME.

DES LACS.

Le nom de *lac* s'applique pour ainsi dire à tous les amas d'eau qui sont à la surface du globe, mais il faut convenir que si on ne peut nettement définir ce qu'on entend par cette expression, il y a une bien grande différence entre tous les objets que l'on réunit sous cette dénomination. L'eau qui sort des sources ou que la pluie répand sur le sol, celle qui résulte de la fonte des neiges ou des glaciers, ne forme pas toujours des ruisseaux et des rivières; elle peut aussi se rassembler dans de petites cavités sans issues, et former des *mares;* mais ce terme, outre qu'il indique de très-petits amas d'eau, emporte avec lui l'idée d'un petit bassin qui se dessèche et se remplit un grand nombre de fois, que les pluies seules alimentent, et qui par conséquent est soumis d'une manière très-directe à toute l'influence des saisons. Une mare, si petite qu'elle soit, dès qu'elle est alimentée d'une manière continue par une source, prend le titre de *lac.* Ceux-ci pourtant ne sont le plus souvent que l'élargissement du bassin d'une rivière, qui entre d'un côté et qui s'échappe de l'autre. S'il existe une digue artificielle, c'est un *étang*, quelle que soit son étendue. Si au lieu d'avoir des bords bien limités l'eau s'étend sur une large surface qu'elle re-

couvre à peine, elle forme un *marais*. Les lacs sont très-répandus, très-rapprochés dans quelques contrées, et ils se trouvent sur toute espèce de terrain. On les rencontre au milieu des plaines, occupant des dépressions du sol ou des bassins plus ou moins étendus. Ils existent, pour ainsi dire, dans toutes les chaînes de montagnes, ou du moins à une petite distance; ils y semblent plus communs qu'ailleurs, comme si les montagnes, à l'époque de leur soulèvement, avaient laissé des vides à leur pied. On en rencontre fréquemment dans les vallées élevées, et là ce sont en général des bassins qu'une rivière emplit, et qui s'en échappe ensuite d'un autre côté, comme le lac de Genève. On en voit aussi au sommet des montagnes, à de très-grandes hauteurs, mais alors ils sont en général peu étendus; ce sont plutôt des mares d'eau pure qui résultent de la fonte des neiges et qui sont au voisinage des glaciers.

Les lacs sont alimentés de différentes manières, et sous ce rapport on les partage en quatre classes.

1° *Lacs où il entre et d'où il sort une rivière.*

Ce sont les plus nombreux et les plus considérables; ils se trouvent ordinairement dans des vallées ou dans des plaines voisines de grandes chaînes de montagnes : tel est le lac de Genève que traverse le Rhône.

Quelquefois on observe plusieurs élargissemens successifs de la vallée, et le lac paraît étranglé ou formé de plusieurs bassins, comme celui de Lucerne traversé par la Reuss, qui remplit successivement trois bassins, et auquel communiquent encore deux autres lacs latéraux.

L'Aar traverse aussi successivement les lacs de *Brientz* et de *Thoun*. Le *Limatt* se comporte de même à l'égard des lacs de *Wallonstadt* et de *Zurich*. On sait que le

lac de *Constance* est traversé par le Rhin, et le lac *Majeur* par le *Thésin*.

Le lac de *Côme* est alimenté par l'Adda, qui en sort ensuite comme le *Mincio* sort du lac de *Garde*.

Du côté de la France, on voit le lac de *Joux* dans une haute vallée du Jura. Il est remarquable par sa situation à 1,900 pieds au-dessus du lac de Genève, et par une autre circonstance singulière qu'il présente. Il est traversé par la rivière *d'Orbe*, qui en sortant de ce lac s'engouffre dans de vastes entonnoirs que les eaux ont pratiqués dans des couches de pierre calcaire, qui sont actuellement dans une situation verticale; et cette même rivière, après un cours caché de trois quarts de lieue, va ressortir dans une vallée inférieure à 680 pieds au-dessous des entonnoirs, par lesquels elle est entrée dans son canal souterrain. De là elle va traverser les lacs de *Neuchâtel* et de *Bienne*, dont elle a peut-être autrefois creusé les bassins, de même qu'elle a formé celui du *lac de Joux*, et comme probablement elle en mine encore un autre dans cet espace de trois quarts de lieue, où elle coule entre des couches de rochers qu'elle ne cesse de corroder et d'excaver, et qui, dans les siècles futurs, éprouveront peut-être à leur tour un affaissement beaucoup moins considérable que les précédens, attendu que le volume des eaux de l'Orbe a prodigieusement diminué comme celui des autres rivières.

Les lacs dont nous venons de parler appartiennent aux Alpes, mais toutes les contrées montagneuses de l'Europe en renferment aussi un assez grand nombre.

La Suède en offre plusieurs qui sont traversés par des rivières.

L'Asie boréale en a deux fort considérables, le lac Nozzaissan dans la Tartarie chinoise, à la base méridionale de la chaîne des monts Altaï, où il est traversé

par l'*Irtyche* et le lac Baikal, dans la Sibérie orientale, qui est traversé par l'*Angara*. Ce lac, que quelques géographes considèrent comme une Méditerrannée, est un des plus grands de l'ancien continent. Il a plus de 100 lieues de longueur sur une largeur moyenne de 15 à 18 lieues; sa profondeur est considérable. Patrin, qui l'a traversé et auquel nous empruntons une partie de ces détails sur les lacs, n'en a pas trouvé le fond avec une sonde de 600 pieds.

L'Amérique renferme également un grand nombre de lacs; le Canada en présente de très-vastes qu'alimentent de grands fleuves; tels sont les lacs *Supérieur*, *Huron*, *Erié*, *Ontario*, qui semblent n'être que les bassins successifs de la large vallée du fleuve Saint-Laurent.

2° *Lacs d'où sortent des rivières sans qu'ils en reçoivent.*

Ces lacs reçoivent leurs eaux par des canaux souterrains, qui peuvent en amener, dans certains cas, de grandes quantités. Des sources cachées peuvent aussi les alimenter, et lorsque ces lacs sont profonds, il peut arriver pour eux ce qui a lieu dans le sondage des puits artésiens, quand on atteint la couche qui s'opposait à l'épanchement du liquide; c'est-à-dire qu'ils peuvent, dans certains cas, être considérés eux-mêmes comme des puits artésiens, extrêmement élargis par le haut, et recevant par leur fond l'eau qui s'infiltre dans des terrains plus élevés.

Ils sort quelquefois de ces lacs des rivières considérables; tel est le lac *Seliger*, dans le gouvernement de Twed, à 60 lieues N.-O. de Moscow, qui donne naissance au Volga, le plus grand fleuve de l'Europe, quoi-

qu'il ne se jette, visiblement, aucune rivière dans ce lac.

Tels sont les lacs appelés Koko-Nor, au pied de la croupe orientale des montagnes du Thibet, d'où sortent le *Honan* et le *Kiang*, deux des plus grands fleuves de l'Asie, qui traversent tout l'empire de la Chine et vont se jeter dans la mer du Japon.

Tels sont les deux petits lacs de la nouvelle Castille, qu'on nomme les *Yeux de la Guadiana*, qui sont voisins de la chaîne des montagnes d'Alcarraz, et qu'on regarde comme les sources de ce grand fleuve.

Tel est encore le lac du *Mont-Cenis*, qui, à la vérité, ne donne pas naissance à une bien grande rivière, mais qui est remarquable par son élévation à 6,000 pieds au-dessus du niveau de la mer; ce lac et la *Cenise* qui en sort sont entretenus par les eaux que des canaux souterrains y conduisent, et qui descendent des sommités voisines, qui sont aussi élevées au-dessus du lac que celui-ci l'est au-dessus des plaines du Piémont.

On voit dans les Pyrénées des lacs qui ressemblent beaucoup à ce dernier et d'où s'échappent également de petites rivières ou des torrens. Tels sont ceux de *Liens*, de *Las-Cougous* et d'*Oncet*, dans les montagnes qui sont au-dessus de Barrèges : leur élévation est très-grande.

3° *Lacs qui reçoivent des rivières sans qu'il en sorte.*

On peut donner la théorie de ces lacs de deux manières. Ou bien les eaux se perdent et s'échappent par des conduits souterrains, ou bien l'évaporation compense exactement la quantité d'eau qui arrive. Il est probable que ces deux causes agissent souvent ensemble.

On cite plusieurs lacs de cette nature dans la Tartarie chinoise : le *lac Asphaltique*, plus connu sous le nom de *mer Morte*, et la *mer Caspienne* elle-même peuvent être considérés comme des exemples de ces sortes de lacs. On cite encore, au Pérou, le lac de *Titicaca*, dans lequel se perdent plusieurs petites rivières.

Il est présumable que les lacs qui offrent maintenant ce caractère, avaient autrefois des dégorgeoirs plus ou moins considérables, et il est possible que ceux dont il sort maintenant des rivières, finissent par ne plus produire que des ruisseaux, qui tariront eux-mêmes à mesure que les eaux diminueront à la surface de la terre.

4° *Lacs où il n'entre et dont il ne sort aucune rivière.*

Il existe peu de lacs de cette espèce, et la plupart d'entre eux n'ont que de petites dimensions. On en cite un assez vaguement au sommet du pic d'Adam, dans l'île de Ceylan; on le dit profond et d'une eau très-pure (1).

La plupart de ces lacs sont des cratères de volcans éteints, dans lesquels l'eau s'est accumulée. Dolomieu en cite un près de Coïmbre, en Portugal. Il en existe beaucoup en Italie, et l'on en a trouvé plusieurs en Auvergne : le plus remarquable de cette contrée est celui de *la Godivelle*, à 15 lieues de Clermont.

On en trouve aussi plusieurs dans l'Eifel, contrée qui a de si grands rapports avec l'Auvergne. Voici ce que rapporte M. J. Reynaud dans son intéressant Mémoire sur les formations volcaniques des bords du Rhin :

---

(1) Ribeiro, *Histoire du Ceylan.*

« Les environs de Daun sont particulièrement inté-
» ressans par la présence de trois lacs de la nature de
» celui de Dreis dont j'ai fait mention tout à l'heure.
» Celui dont je donne le croquis et dont le nom est, à
» ce que je crois, Gemünder-Maar, semble, au pre-
» mier aspect, occuper le fond d'un cratère véritable
» (*fig.* III), et produit une délicieuse impression par
» l'aspect de ses eaux fraîches et limpides, peuplées
» de troupes nombreuses d'oiseaux aquatiques et de
» poissons qui y vivent dans un repos que l'homme
» vient rarement troubler. Les bords du cratère pré-
» sentent des forêts qui garnissent presque tout son
» intérieur; la roche est une grauwacke assez solide,
» dont la stratification ne paraît pas très-altérée,
» comme si la trouée qui s'est faite à travers ses cou-
» ches avait eu lieu par l'explosion d'une force sou-
» daine. Le fond de l'entonnoir et tous les bords sont
» recouverts d'une grande quantité de petits fragmens
» de grauwacke cuits et d'une apparence souvent un
» peu vitrifiée, mais souvent aussi encore anguleux sur
» leurs bords. On trouve sur les flancs de la montagne,
» surtout en dehors du cratère, une assez grande
» quantité de boules irrégulières de laves poreuses et
» d'autres boules de diverses sortes, composées de py-
» roxène ou d'amphibole. Le diamètre supérieur de
» l'entonnoir peut être d'un kilomètre environ, et sa
» forme générale présente assez d'analogie avec la trace
» que laisserait dans le sol une fougasse gigantesque.

» Un autre lac beaucoup plus grand (Wein-Felder-
» Maar), se trouve à un kilomètre de distance de celui-
» ci; il est placé à un niveau plus élevé sur le sommet
» de la montagne; sa forme est aussi bien déterminée,
» mais il n'est pas aussi pittoresque; ses parois, qui
» sont beaucoup plus escarpées que celles du lac pré-

» cédent, et trop rapides pour soutenir une aussi belle » végétation, sont formées par une grauwacke toute » semblable.

» Le troisième lac (Schalkenmehrener-Maar), est » placé dans la plaine, et ne présente pas des caractères » aussi tranchés que les deux précédens; une bonne » partie de son contour ne présente aucune éminence » et se continue à peu près avec le niveau de la plaine : » il est inutile de dire que celui-ci donne naissance à un » petit ruisseau qui emporte l'excès de ces eaux. Un » village est bâti sur ses bords, et les prairies qui l'en- » vironnent lui donnent toute l'apparence de ces » étangs que l'on rencontre si fréquemment dans cer- » tains pays, au voisinage des habitations. Cependant, » l'analogie et les fragmens épars autour de ses bords » semblent nous autoriser suffisamment à lui assigner » une origine analogue à celle des deux précédens.

» De véritables volcans existent certainement dans » le voisinage de ces lacs, mais nous ne les avons point » visités; nous nous sommes contentés des indices de » leur proximité, que nous ont donnés les nombreuses » couches de rapilli qui couvrent le sommet des mon- » tagnes, surtout aux environs du second lac dont j'ai » parlé (Weinfelder-Maar).

» A Gellenfeld, à quelque distance de Daun, on » trouve un volcan bien caractérisé, au pied duquel » on aperçoit un lac tout semblable, fort étendu, et » placé au sommet de la montagne sur la pente de la- » quelle repose le village (1). »

Patrin en cite un grand nombre et donne des détails

---

(1) Jean Reynaud, sur les formations volc. des bords du Rhin. *Ann. des Mines*, 3e série, t. II, p. 383.

très-curieux sur ceux que l'on voit dans les déserts qui sont au nord de la mer Caspienne et dans les plaines qui s'étendent entre les monts Ourals et l'Irtyche, ainsi que dans le grand désert du Baraba, qui occupe, entre l'Irtyche et l'Ob, un espace d'environ 400 lieues du sud au nord, sur une largeur moyenne de 150.

« Le sol de ces différentes contrées, dit Patrin, est partout de la même nature, c'est-à-dire composé de marne plus ou moins mêlée d'argile et de sable. Les lacs s'y trouvent en grand nombre, et ce ne sont, en général, que des espèces de mares où se rassemblent les eaux de pluie et celles qui résultent de la fonte des neiges : leur plus grande étendue n'est guère que de deux ou trois lieues de circonférence, et, pour l'ordinaire, de beaucoup moins; leur profondeur est très-petite, souvent elle n'est que de quelques pieds et rarement de plus d'une toise; le fond est presque aussi plat que celui d'une cuvette, et pour l'ordinaire il est à sec à la fin de l'été. »

Il faut encore rapporter à cette classe de lacs qui renferme ceux qui ont le plus de rapport avec les mares, de nombreuses dépressions, ou des entonnoirs à formes plus ou moins régulières, sans trace d'eau pendant l'été, et le plus souvent à surface limoneuse rougeâtre, que l'on rencontre en Morée, sur plusieurs plateaux calcaires ; ce sont les *lacos* des Grecs, cavités que M. Boué considère comme analogues à ces trous cratériformes des terrains secondaires gypsifères de l'Allemagne septentrionale, qu'il regarde comme le résultat d'affaissemens locaux.

Un de ces trous, nommé le *lac d'Ino*, et situé près d'Epidaure Limera, était autrefois le siége d'un oracle. C'est une cavité circulaire de 4 à 5 mètres de diamètre au milieu de calcaires compactes, fendillés et redressés

comme dans tout le Péloponèse; sa distance à la mer n'est pas de plus de 100 à 150 mètres; il s'élève à peine à deux mètres au-dessus de son niveau, et quoique sa profondeur soit inconnue (30 mètres de sonde n'ont pu en atteindre le fond), il est rempli jusqu'aux bords, en toute saison, d'une eau à peine saumâtre. M. Boblaye pense que ces diverses circonstances ne permettent de regarder ce lac que comme l'une des branches d'un siphon, dont l'autre aboutirait au-dessous du niveau de la mer, à une profondeur que la différence de densité de l'eau douce et de l'eau marine, et l'élévation de 2 mètres du niveau du lac, fixeraient à 77 mètres (1).

DE LA FORME ET DE L'ÉTENDUE DES LACS.

Rien de plus varié que la forme des lacs ainsi que leur dimension. Ils offrent cependant deux formes dominantes, qui dépendent de leur situation. Si ce sont des lacs qui occupent les dépressions du sol, et qui reçoivent des rivières qui viennent s'évaporer dans leur bassin, ils sont généralement arrondis, ou du moins c'est la forme qu'ils présentent vus de loin; car, en approchant, les bords peuvent paraître découpés plus ou moins profondément, ou du moins onduleux. Ils sont aussi presque toujours ronds quand ils sont placés dans de vieux cratères, ou quand ils submergent de petites dépressions provenant du retrait ou de l'effondrement de roches sur divers plateaux.

Lorsqu'au contraire les lacs occupent des vallées éle-

(1) Boblaye, des dépôts terrestres à la surface de la Morée. *Ann. des mines*, 3e série, t. IV, p. 115.

vées et qu'ils sont traversés par des rivières, leur forme est celle d'un ovale allongé, quelquefois étranglé de distance en distance. Il en résulte que la plupart des grands lacs sont allongés dans le sens du cours d'eau auquel ils doivent leur origine.

Nous avons cité tout à l'heure des lacs de 4 à 5 mètres de diamètre; mais il en est qui sont immenses, surtout en plaçant parmi eux la *mer Caspienne*, et tous les amas d'eau salée qui ne communiquent en rien avec la mer.

Parmi les lacs d'eau douce, il y en a aussi de très-grands; le plus étendu est le *lac Supérieur* situé dans l'Amérique septentrionale. Sa plus grande largeur, du nord au sud, est de 55 lieues, et sa plus grande longueur, de l'est à l'ouest, est de 170 lieues; sa circonférence, en suivant tous les contours, serait de 400 lieues, selon Mac-Kenzie, et de 500, selon Faden.

Ce lac reçoit un grand nombre de rivières différentes; il traverse ensuite le détroit de Sainte-Marie, et se décharge dans le lac Huron. On suppose que l'évaporation enlève la majeure partie des eaux qu'il reçoit, et qu'il n'en sort qu'environ le dixième.

La profondeur des lacs n'est nullement en rapport avec leurs dimensions; ainsi le lac Erié, dans le Canada, qui a 86 lieues de longueur et une largeur proportionnnée, n'a qu'une petite profondeur, et il en est de même de tous ces grands lacs de l'Amérique du nord, qui ne sont réellement que de vastes plaines submergées. Les lacs les plus profonds sont ceux qui sont situés dans des cratères volcaniques ou dans des cratères d'effondrement, comme le lac Pavin et le gour de Tazana en Auvergne, et les *cratères-lacs* de l'Eifel. Ceux qui occupent les parties basses des hautes vallées des montagnes sont aussi très-profonds. Le petit lac d'Oo a, se-

lon M. Boubée, 230 pieds de profondeur; Saussure a trouvé 950 pieds à l'endroit le plus profond du lac de Genève, 600 pieds dans le lac de Lucerne, 500 dans celui de Brientz, 370 pour le lac de Constance, 350 dans celui de Thoun, 335 dans le lac Majeur, 240 dans celui du Bourget, et 163 pieds pour celui d'Annecy.

Leur plus grande profondeur est en général vers le milieu de leur longueur, et quand cette profondeur se trouve dans le voisinage du bord, on remarque que le rivage y est presque toujours coupé à pic.

DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU DES LACS.

Il était curieux de connaître la température de l'eau de ces vastes bassins à des profondeurs variées; car on sait que l'eau atteint son maximum de densité entre 3° 89 et 4° 44. Cette latitude de $\frac{1}{2}$ degré n'existerait pas pour de l'eau distillée; mais comme celle des lacs est loin d'être pure, on est forcé d'admettre que la température à laquelle l'eau atteint sa plus grande pesanteur relative, varie en raison des sels et des corps gazeux qu'elle contient. A la surface, la température change souvent, parce qu'elle dépend de l'air atmosphérique, et par conséquent elle est subordonnée aux saisons, tandis que dans le fond des lacs cette cause de variation n'existe plus, et l'on suppose avec raison que l'eau la plus pesante doit gagner les parties basses, et que par conséquent une fois arrivée à une certaine profondeur, à laquelle les variations atmosphériques ne peuvent plus se faire sentir, elle doit offrir une température dont les limites sont comprises entre 3° 89 et 4° 44. C'est probablement ce qui aurait lieu réellement s'il n'existait aucun courant dans les grands lacs, ou si les affluens s'étendaient régulièrement à la surface au

COCHEUX TINKTUR

WIDER DIE

GLIEDSUCHT DIE HARNKRANKHEIT

UND DIE RHEUMATISCHEN SCHMERZEN

Die schon seit længerer Zeit in der franzœsischen Heilkunde gebrauchte *Cocheux-Tinktur* hat die Colchicine zur Grundlage. Sein wirksamer Urstoff ist dem Colchique entzogen, aber seine drastique Eigenschaft welche, durch die Wirkung auf die Gedærme, die sichere Heilung erschwerte, ist durch die Erfindung von Cocheux abgeholfen.

Dieses Præparat ist ein gründliches Heilmittel gegen die Gliedsucht, die Harnkrankheit und die rheumatischen Schmerzen.

Die Gliedsucht. — Die Personen welche von diesem Uebet behaftet sind, kœnnen ganz davon geheilt werden wenn sie alle Morgen einen Kaffelœffel voll von dieser Tinktur in Veilchen-Thee oder in Zuckerwasser einnehmen. Nach Beendigung der ersten Flasche unterbricht man für 14 Tage, worauf man wieder mit dem gleichen Verfahren fortfæhrt.

Bei einem vorübergehenden Gliedsucht-Anfalle genügt ein Esslœffel voll von dieser Tinktur, des Morgens genommen, um dem Weiterschreiten der Krankheit Einhalt zu thun.

Harnkrankheit. — Der Kranke soll mit dem Einnehmen der Cocheux-Tinktur nicht warten bis diese schmerzliche Krankheit seinen Hohepunkt erreicht hat, sondern bei dieser Tinktur seine Hülfe suchen, sobald sich ein rother Satz im Urin bemerkbar macht. Das Quantum ist das gleiche wie für die Gliedsucht.

Rheumatische Sch[...]zen. — Für die rheumatischen Schmerzen nimmt man d[...]rgens einen Kaffelœffel voll mit Arnica-Thee ein.

Die Tinktur von Coch[...] allen Apotheken zu haben.

Verkauf i[...]er Apotheke von

TAVERNIER et AG[...] quai Fulchiron, LYON

TINTURA DI COCHEUX

CONTRA

LA GOTTA, LA RENELLA

ED I

REUMATISMI

La Tintura di Colchico di Cocheux gia da molto tempo adoperata nella medicina francese, contiene come principio attivo la Colchicina, privata del principio drastico, il quale, pella sua intensa azione sugli intestini, non a permesso di trare alcun profito terapeutico da questo rimedio anti-gottoso fino all'epoca della scoperta di Cocheux.

Cotesto preparato possede un azione realmente specifica contro la Gotta, la Renella ed i Reumatismi.

Gotta. — Le persone soggette a questa malattia se ne preserveranno prendendo, ogni mattino, a digiuno, una cuchiajata (da caffe) di tintura di Cocheux insieme ad un infuso di viole mammole, o ad un mezzo bicchiere d'acqua zuccherata.

Dopo averne esaurita la quantità contenuta in una boccetta sene potra sospendere l'uso stante una quindicina di giorni, per riprenderne una seconda boccetta colle istesse norme e proporzioni della prima.

Nella circostanza di un accesso di gotta, converra prenderne una cuchiajata (da tavola) il matti[...]a digiuno. Questa dose bastera ad opporsi al progresso della mal[...]tia.

Renella. — Gli ammalati fa[...]nno bene di non aspettare la fase dolorosa della malattia per f[...] uso della Tintura di Cocheux: ma invece sara prudente consigli[...] ricorarvi cosi tosto potranno accorgersi d'un sedimento rosso nelle orine. La dose e l'istessa di quella stabilita pella gotta.

Reumatismi cronici. — Nelle affezioni reumatiche in generale, la Tintura di Colchico [...]ole amministrarsi a la dose di una cuchiajata da caffe diluita nell'[...]fuso di arnica Montana.

La Tintura di Colchico e rinve[...]bile in tutte le Farmacie.

Per acquistarne consider[...]e quantità rivolgersi

TAVERNIER et AGUETTA[...], quai Fulchiron, LIONE

TINTURA DE COCHEUX

CONTRA

A GOTA, AS ARÊAS

E OS

RHEUMATISMOS CHRONICOS

A Tintura de Cocheux, empregada desde muitos annos na medicina franceza, tem por base a colchicina, principio activo do Colchico, privado do principio drastico que por sua acçaô sobre os intestinos tornava difficil a administraçaô d'este antigotoso até a descoberta de Cocheux.

Esta preparaçaô tem uma verdadeira acçaô contra a gota, as arêas e os rheumatismos chr[illegible]nicos.

Gota. — As pessôas que [illegible]offrem d'esta enfermidade preservar-se-iaô d'ella tomando cada dia uma colher a café de tintura de Cocheux pela manhâ misturada n'uma infusaô de flores de violas ou n'um 1/2 copo d'agua assucarada.

Depois de ter tomado o primeiro frasco, é preciso esperar quinze dias, passados os quaês se seguirà outra vez o mesmo tratamento.

Nos casos de ataque de go[illegible] uma colher ordinaria tomada pela manhâ bastara para suspend[illegible] os progressos da molestia.

Arêas. — Os doentes [illegible]aô devem esperar para tomar a Tintura de Cocheux, o perio[illegible] doloroso da doença deveraô usar d'ella desde que observara[illegible] deposito vermelho na urina.

A dose é a mesma que p[illegible] a gota.

Rheumatismos ch[illegible]onicos. — Nos rheumatismos tomar uma colher a café ca[illegible]a dia n'uma infusaô d'arnica.

A Tintura de Cocheux ach[illegible]se em todas as pharmacias.

Para a venda [illegible]cado dirigir-se a

TAVERNIER et AG[illegible]NT, 36, quai Fulchiron,

[illegible]ON

TINTURA DE COCHEUX

CONTRA

LA GOTA, MAL DE PIEDRA

Y REUMATISMO

La *Tintura de Cocheux*, empleada desde hace muchos años en la medicina francesa, tiene por base la *Colchicina* principio activo del Cólchico privado de [illegible]u principio drástico, que por su accion sobre los intestinos habia hecho dificil la aplicacion de esté remedio antigotoso, antes del descubrimiento de Cocheux.

Está preparacion ejerce una verdadera accion contrá la gota, mal de piedra y los reumatismos crónicos.

Gota. — Las personas que sufran de esta enfermedad, se preservarán de ella, tomando cada dia por la mañana una cucharada de á café, de Tintura de Cocheux, mezclada con una infusion de violetas, ó con medio vaso de agua azucarada.

Despues de haber tomado la primera botella, se tomara un reposo de 15 dias, pasados los c[illegible]es se sequirá otra vez el mismo tratamiento.

En el caso de un ataque d[illegible] gota, una cucharada ordinaria tomada por la mañana será bas[illegible]nte para detener los progresos de la enfermedad.

Mal de piedra. — Los enfermos no deben esperar para tomar la Tintura de Cocheux, el periodo doloroso de la enfermedad. Desde el momento que observe[illegible] en su orina un depósito rojoso, harár pronto uso de dicha tint[illegible] La dosis és la misma que para la gota.

Reumas chronicos. [illegible] tomará por la mañana una cucharada á café de la Tintura [illegible]clada con una infusion de Arnica.

La Tintura de Cocheux se [illegible] en todas las farmacias.

Para la vent[illegible] dirigirse á

MM. TAVERNIER et AC[illegible] quai Fulchiron, LYON

lieu de descendre dans l'intérieur, et de se mêler à la masse générale.

Voici du reste le tableau des expériences faites par de Saussure dans la plupart des lacs de la Suisse.

Tableau des expériences faites par de Saussure pour reconnaître la température des lacs à diverses profondeurs.

Lieux.	Dates.	Profondeur.	Temp., degrés Réaumur.	Tempér. à la surface.	Tempér. de l'air.
Lac de Genève.	6 août.	312p.	$8^\circ \frac{1}{2}$	15	20°
(1) *Id.*	11 févr.	950	$4 \frac{3}{10}$	$4 \frac{1}{2}$	$1 \frac{3}{4}$
Lac d'Annecy (2).	14 mai.	163	$4 \frac{1}{2}$	$11 \frac{1}{2}$	10
L. du Bourget (3).	6 octob.	240	$4 \frac{1}{2}$	$14 \frac{1}{5}$	$10 \frac{3}{10}$
L. de Thoun (4).	7 juillet.	350	4	15	16
L. de Brientz (5).	8 juillet.	500	$3 \frac{}{10}$	16	15
L. de Lucerne (6).	28 juillet	600	$3 \frac{9}{10}$	$16 \frac{3}{10}$	$18 \frac{6}{10}$
Lac de Constance.	25 juillet	370	$3 \frac{4}{10}$	14	16
Lac Majeur.	19 juillet	335	$5 \frac{4}{10}$	20	18

Depuis l'époque où de Saussure a fait ces curieuses

---

(1) Le lac de Genève étant élevé de 1,126 pieds au-dessus de la Méditerranée, le fond de son bassin n'est que de 176 pieds au-dessus de son niveau.

(2) Ce lac est élevé de 210 pieds au-dessus de celui de Genève.

(3) Saussure fait observer qu'on ne devrait attribuer la froideur de ce lac à aucune cause étrangère; il ne reçoit nul torrent des Alpes, et la communication qu'il a avec le Rhône ne lui apporte les eaux de ce fleuve que pendant les crues d'été.

(4) Elevé de 630 pieds au-dessus de celui de Genève.

(5) Il est contigu à celui de Thoun.

(6) Elevé de 91 pieds sur celui de Genève.

expériences sur la température des lacs, elles ont été renouvelées par M. de Labèche, qui a descendu un grand nombre de fois un thermomètre à *minima* à diverses profondeurs. Il a trouvé en général des températures peu différentes de celles qu'avait déterminées Saussure (1). Une élévation dans ces degrés de chaleur a été remarquée par M. Boubée au fond du lac d'Oo dans les Pyrénées; à 230 pieds de profondeur l'eau marquait 7° et 11 à la surface. M. Boubée a conclu de cette température que l'eau de la cascade qui alimente le lac, et qui, comme celle de tous les torrens qui découlent des glaciers des Pyrénées, a une température moyenne de 6 à 7°, au lieu de se répandre à la surface du lac, se précipite au fond à cause de sa plus grande densité, et établit son courant dans la partie la plus profonde du lac.

La même cause doit nécessairement faire varier la chaleur des grands lacs de la Suisse ; car pour obtenir précisément le degré de température que donne l'eau à son maximum de densité, il faudrait que des courans abondans et très-froids vinssent alimenter les lacs, ou bien que l'eau refroidie à sa surface fût voisine du *o* du thermomètre.

DE LA COMPOSITION DE L'EAU DES LACS.

Considérés sous le rapport de la composition de leurs eaux, les lacs sont rangés sous deux divisions : les lacs d'eau douce et les lacs salés.

L'eau qui remplit le bassin des lacs d'eau douce est ordinairement très-pure, et ce que nous avons dit de la

(1) De Labèche, *Annales de chimie et de physique*, t. XIX, p. 80.

composition de l'eau des fleuves peut parfaitement s'appliquer à celle-ci. Elle est généralement très-limpide, car elle dépose toutes les matières qu'elle tenait en suspension et acquiert une grande transparence.

L'eau des lacs salés offre à peu de chose près la même composition que l'eau de la mer, et nous étudierons ses caractères en nous occupant de cette dernière; mais plusieurs d'entre eux contiennent d'autres matières que du sel marin : tels sont ceux de la vallée des Lacs en Egypte, dans le désert de Theriet. Ces lacs, au nombre de 6, sont à 21 lieues à l'ouest-nord-ouest du Caire; leur étendue est peu considérable. Dans les grandes chaleurs, tous sont quelquefois à sec. La vallée qu'ils occupent est séparée du Nil par un plateau calcaire de 10 lieues d'étendue.

Pendant trois mois de l'année, des sources nombreuses amènent leurs eaux dans la vallée des Lacs par sa pente orientale qui est du côté du Nil, ce qui a fait présumer que ces eaux étaient fournies par le fleuve et sortaient à travers le plateau. Elles s'évaporent ensuite et laissent les lacs presque entièrement à sec, ce qui est facile à concevoir; car il paraît que leur profondeur n'excède pas un pied et demi, même dans le milieu.

Ces lacs renferment trois espèces de sels, qui quelquefois s'y trouvent séparés. La partie orientale fournit du natron ou sous-carbonnate de soude; le centre du sulfate de soude, et la partie occidentale du sel marin.

Quand les mêmes eaux contiennent ces trois sels, le sel marin cristallise le premier, et ensuite le natron, ou quelquefois d'abord le sulfate de soude, ce qui tient à leur degré de solubilité plus ou moins grand.

Il existe aussi en Sibérie et dans l'Inde, ainsi que sur plusieurs points de la Hongrie et de l'Amérique, des lacs qui renferment du natron qui se montre souvent

sur leurs bords ou sur leur fond desséché, sous la forme d'une efflorescence extrêmement blanche.

Peut-être faut-il rapporter la production de ces sels à des sources minérales qui alimentent les lacs natrifères. Ce phénomène aurait alors des rapports marqués avec les lagonis de Toscane, dont la description trouvera sa place à la suite des eaux thermales.

Un fait très-singulier est le mélange de plusieurs petits lacs d'eau douce avec de tels lacs salés. C'est cependant ce qu'on observe au nord de la mer Caspienne et dans le grand désert de Baraba, entre l'Irtyche et l'Ob, en Sibérie.

« Ces lacs présentent un phénomène assez singulier. On en voit dans la même plaine, et à quelques centaines de pas de distance, dont les uns contiennent de l'eau douce; d'autres ont leurs eaux chargées de sel marin; d'autres sont saturés d'un sel amer, tout semblable au sel d'epsom; d'autres enfin contiennent à la fois ces deux espèces de sels, tantôt mêlées dans la totalité de leurs eaux, tantôt séparément, le sel marin dans une partie du lac, et le sel d'epsom dans l'autre partie; tantôt ces deux sels se forment en même temps, et tantôt le sel d'epsom ne se manifeste que vers la fin de l'été. »

On a supposé avec vraisemblance que des sources salines devaient alimenter ces différens lacs, d'autant plus que le sol qui les environne se couvre continuellement d'efflorescences de même nature; mais Patrin objecte que si ces sources venaient chaque année remplir les lacs d'eau salée, celle-ci en s'évaporant laisserait le sel dont elle est chargée, et elles auraient bientôt rempli de sel tout le bassin du lac, et c'est, dit Patrin, ce qui n'arrive nullement; soit qu'on enlève la croûte de sel qui se forme au fond de ces lacs pen-

dant l'été, soit qu'on la laisse, il n'y en a ni plus ni moins l'année suivante (1).

DES SEICHES OU MARÉES ACCIDENTELLES DES GRANDS LACS.

On nomme ainsi à Genève certains débordemens du lac, qui ont lieu, surtout à son extrêmité occidentale, d'une manière très-subite, et qui ne durent qu'un court espace de temps. C'est un phénomène commun à tous les lacs : ainsi il existe dans ceux de Zurich, d'Annecy, de Lucerne, de Constance, de Neuchâtel, du Tessin, de Côme, etc.; s'il est plus remarquable sur le lac de Genève, c'est que la cause qui le produit et qui existe partout, n'exerce toute son influence que sur la surface de ce dernier. Ailleurs, la cause étant faible, son effet a souvent échappé à l'observation. M. Boué dit en avoir remarqué aussi, sur une plus petite échelle, dans plusieurs lacs des Alpes de l'Autriche, et toujours sous des circonstances à peu près telles que celles qui ont été observées sur le lac de Genève. Enfin, on les a reconnues aussi sur les grands lacs de l'Amérique septentrionale, et notamment sur le lac Supérieur, dont les seiches sont aussi très-irrégulières et ne s'élèvent pas à plus d'un pied.

Les seiches ont lieu dans toutes les saisons et à toutes les heures du jour; mais elles sont en général plus fréquentes au printemps et en automne. La grandeur de ces inondations paraît même en rapport avec l'état plus ou moins pluvieux de l'atmosphère, la seiche étant plus

---

(1) Patrin, *Dictionnaire d'histoire naturelle* de Deterville.

considérable lorsque le temps est à l'orage et le baromètre bas, que par un temps serein.

Dans le lac Léman, les seiches sont d'autant plus grandes qu'on s'approche de la sortie du Rhône, tandis que l'extrêmité orientale du même lac n'a pas de seiches plus sensibles que celles des autres lacs.

Si le minimum des seiches n'a pas de terme, leur maximum ne dépasse pas 5 pieds, et leur durée, quoique très-variable, n'excède guère 20 à 25 minutes.

Enfin, les plus grandes seiches ont lieu en juillet et août ou au commencement de septembre.

On a cru d'adord que ce phénomène était occasionné par des coups de vent qui, repoussant les eaux du petit lac au delà de la barre sablonneuse qui le sépare du grand, et ces eaux venant à retourner, occasionnaient ces oscillations.

Cependant Jallabert observa que les seiches avaient lieu sans qu'il y eût aucun coup de vent, et il les attribua à la fonte subite des neiges qui grossissait l'Arve tout-à-coup, de manière à retarder brusquement le cours du Rhône à sa sortie du lac.

Mais de Saussure a vu arriver ces crues subites de l'Arve sans qu'il y eût la moindre apparence de *seiches*.

Bertrand a cherché à les expliquer en supposant que des nuées électriques attirent et soulèvent les eaux du lac, et que ces eaux, en retombant, produisent ces ondulations.

Patrin attribuait ces soulèvemens de la surface de l'eau à des émanations souterraines, et depuis on a remarqué, en effet, sur le lac de Genève, des bouillonnemens considérables dus aux dégagemens de matières gazeuses et qui semblaient coïncider avec l'époque des tremblemens de terre qu'on ressent assez souvent dans les Alpes.

Il n'y a en effet rien d'étonnant que des gaz accumulés dans l'intérieur de la terre, s'échappent du fond d'un lac où ils trouvent moins de résistance qu'ailleurs. Un bruit sourd, analogue à celui que produisent les tremblemens de terre, accompagne ordinairement ces sortes d'éruption.

M. Vaucher, qui a publié un Mémoire très-important sur les seiches des lacs de la Suisse, donne une explication qui paraît s'accorder beaucoup mieux avec les faits. Il attribue ces oscillations accidentelles à la pression inégale que différentes colonnes atmosphériques font éprouver à l'eau. Or, ces variations barométriques sont un fait reconnu, surtout dans les pays de montagne; si une colonne d'air devient plus pesante que celles qui l'avoisinent, à l'instant cette pression relèvera le niveau des eaux voisines; et si ces dernières sont enclavées dans un étroit bassin, il s'ensuivra un débordement. Mais dans le cas du lac de Genève, les eaux, au lieu d'être de niveau, forment la pente rapide d'un fleuve : donc, si elles sont pressées, elles seront obligées d'obéir à deux forces, celle de la pente et de la colonne d'air, et elles suivront la diagonale entre ces deux forces selon une direction facile à déterminer. Elles seront plus ou moins relevées dans une grande étendue du courant; or, cela ne peut avoir lieu sans diminuer ce dernier, retarder le cours des eaux et les accumuler. Avec cette explication, on se rend compte aisément de toutes les apparences et de toutes les modifications locales des seiches.

Ce phénomène a amené naturellement M. Vaucher à parler de l'apparence curieuse que présente, sous certains états de l'atmosphère, la surface de tous les lacs, et même des baies marines très-enclavées, comme en Ecosse. La surface du liquide, au lieu d'être calme ou

agitée, présente, sous mille formes diverses, des parties parfaitement calmes et miroitantes à côté des portions agitées. Ces *fontaines*, ou ce *mirage*, comme l'appellent les bateliers, trop souvent attribués à des courans, doivent être une suite de l'immobilité de la colonne atmosphérique qu'ils supportent, tandis que les colonnes d'air voisines sont agitées verticalement ou horizontalement. Si telle paraît être l'explication, M. Vaucher ne donne pas le mot de l'énigme pour la production de cet état singulier de l'air. Néanmoins, comme les seiches annoncent la pluie et ont lieu souvent par un ciel en apparence serein, il s'ensuit qu'il se passe dans l'air des dissolutions et des précipitations irrégulières, et par conséquent ces variations remarquables de l'atmosphère dépendront principalement de ces phénomènes peu connus.

M. Vaucher termine son intéressant Mémoire en demandant si un phénomène analogue aux seiches n'a pas dû se produire sur une grande échelle lors de la formation de la croûte terrestre, lorsque l'atmosphère devait être chargée de plus de gaz différens en quantité et en densité. Il va même jusqu'à supposer que des couches contournées ou brisées auraient pu être ainsi produites (1).

(1) *Mém. de la Soc. de physique et d'hist. nat. de Genève*, vol. VI, part. 1re, p. 35; et *Résumé des sciences géologiques*, par M. Boué. 1833, p. 95.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES MARAIS.

Les marais sont des espaces de terrain plus ou moins étendus, toujours imbibés et souvent recouverts d'eau. Des causes variées les produisent et les entretiennent; telles sont les eaux pluviales tombées en abondance sur un sol argileux, bas, peu incliné; l'affluence, sur un sol ainsi disposé, des eaux qui viennent de l'intérieur des terres et des montagnes voisines, et, dans d'autres circonstances, l'irruption des eaux de la mer ou d'un fleuve débordé. Aucune des conditions de la stagnation des eaux n'a plus d'influence que la disposition du bassin dont elles couvrent la surface; elle est telle, que la masse liquide qu'une cause accidentelle y a conduite ou formée, trop considérable pour s'infiltrer dans le sol ou être évaporée avant d'avoir été renouvelée, ne peut que très-difficilement se former en courans, en torrens, en ruisseaux, et se perdre dans les eaux d'un fleuve ou de la mer. Diverses circonstances concourent à maintenir les eaux sur la plaine qu'elles ont envahie, et c'est à peine si quelques petits ruisseaux d'eau limpide s'en échappent à la faveur d'un lit profondément creusé dans un sol tourbeux. Des plantes, en quantité considérable, naissent et croissent avec une grande énergie autour du sol inondé et en divers points de sa surface; elles y meurent après la saison des pluies,

et leurs débris, mais surtout leur nombreuses feuilles, exhaussant de plus en plus le terrain submergé, le constituent enfin définitivement à l'état de marais.

Cet effet aura lieu nécessairement si un bassin, situé au-dessous du niveau d'un fleuve ou de la mer, est inondé par l'un ou par l'autre, et n'a pas assez de pente pour contraindre les eaux à le quitter. Un marais se formera lorsqu'un terrain bas recevra les eaux des torrens nés accidentellement sur des montagnes voisines, et n'aura pas assez de déclivité pour se délivrer de la masse liquide dont la pluie l'aura couvert. Comme l'évaporation des eaux et leur infiltration ne sont nullement en proportion avec leur affluence considérable et souvent répétée, comme les obstacles à l'écoulement de l'eau augmentent et se multiplient de plus en plus, si l'art ne corrige ce vicieux état de choses, le sol inondé devient de plus en plus marécageux. La résistance que les flots de la mer opposent sans cesse aux eaux qui affluent dans son sein, force, après un choc réitéré, les parties les plus pesantes à se précipiter, à former des atterrissemens considérables, tandis que celles qui surnagent sont rejetées de toute part sur les bords des étangs du littoral. Cette lutte continuelle de la mer et des fleuves répand dans les terres les débris d'une quantité immense de substances animales. Ainsi est expliquée l'insalubrité des lieux voisins de l'embouchure des rivières. Les inondations sont fréquentes partout où les rivières ne peuvent verser leurs eaux dans la mer qu'avec difficulté : le Tibre, toujours plein de vase et ne pouvant qu'à peine décharger ses eaux dans la Méditerranée, en couvre souvent les terres voisines. C'est aux flaques d'eau formées par les rivières dont la trop grande élévation de la mer rend le dégorgement difficile, que la belle plaine voisine de l'embouchure de la

Cécina doit sa stérilité et ses malheurs. Le mouvement que l'Océan imprime aux fleuves qui lui conduisent leurs eaux, se fait sentir à de grandes distances, comme on a pu s'en convaincre par les exemples que nous avons cités en parlant de leur embouchure; et, sur les rivages, beaucoup d'étangs et de marais sont formés par les obstacles que la mer oppose aux cours de leurs eaux. Une mortalité effrayante a souvent détruit les populations qui existaient auprès de ces lieux insalubres.

Plusieurs marais donnent naissance à des rivières et même à des fleuves considérables : ainsi le Borysthène, le Niemen et la Dwina ont tous trois leur source dans la même plaine marécageuse; d'autres amas d'eaux continentales stagnantes reçoivent des rivières qui s'y perdent. En Espagne, la Guadiana disparaît dans la plaine d'Alcaza, et renaît à cinq lieues plus loin, en formant de grands marais; le Zenderoud, en Perse, termine son cours dans un vaste marécage. Ainsi finissent, en Afrique, grand nombre de rivières qui descendent du versant méridional de l'Atlas, vers le grand désert de Sahara, et d'autres rivières nées dans les montagnes d'Abyssinie.

Les marais occupent encore une grande partie du globe et couvrent quelquefois des terrains considérables. On en trouve un grand nombre dans les régions riveraines du nord de l'Europe où ils s'étendent jusqu'en Finlande. Presque tout l'espace situé entre la Prusse ducale et la mer Blanche ne forme qu'un vaste marais parsemé de petits lacs et de cours d'eau, et qui, selon M. Bory de Saint-Vincent, unissait autrefois la mer Blanche et la Baltique.

De vastes marais recouvrent sur certains points l'empire de Russie, et s'étendent jusque dans la Sibérie.

L'Asie ne paraît pas contenir autant de marais que

l'Europe; on en trouve cependant de fort grands aux environs de l'Euphrate, des Palus-Méotides, et en Tartarie, des eaux stagnantes couvrant plusieurs de ses plaines, rendent quelques-unes de ses montagnes inabordables, et occupent la surface d'une partie de ses forêts.

Beaucoup de parties de l'Afrique sont inondées par des masses prodigieuses d'eaux pluviales, et couvertes de marécages que la température de ce climat rend doublement dangereux. Ils sont communs en certains points des côtes, surtout depuis la rivière du Sénégal jusqu'au pays des Cafres. Les voyageurs nous ont souvent entretenus des eaux stagnantes du Delta, d'Alexandrie, de Damiette, des côtes de la Barbarie. La Basse-Egypte est un marais pendant plusieurs mois de l'année. Ce pays, si riche par ses souvenirs et par sa fertilité, est, aux yeux de quelques géologues, un présent du Nil, une contrée formée par la quantité prodigieuse de limon que le fleuve charrie et dépose sur ses bords continuellement exhaussés. Telle est l'opinion d'Hérodote, qui donne la même origine à tout le pays marécageux jusqu'à trois jours de navigation en remontant le fleuve (1).

L'Amérique est la contrée du globe qui offre le plus grand nombre de marais; mais ils présentent presque tous un caractère particulier, c'est d'être alternativement submergés et émergés, selon les saisons et les crues périodiques des grands fleuves. Les débordemens s'étendent si loin que l'on voit des tribus sauvages tout entières disputer aux singes et aux oiseaux la cîme des arbres où ils habitent en commun.

---

(1) La majeure partie de ce que nous venons de dire sur les marais est extrait de l'intéressant ouvrage de M. Montfalcon.

Buffon a décrit, avec son éloquence ordinaire, les vastes savannes de cette partie du monde.

« Nous avons peint, dit-il, les déserts arides de l'Arabie-Pétrée, ces solitudes nues où l'homme n'a jamais respiré sous l'ombrage, où la terre sans verdure n'offre aucune subsistance aux animaux, aux oiseaux, aux insectes; où tout paraît mort parce que rien ne peut naître, et que l'élément nécessaire au développement des germes de tout être vivant ou végétant, loin d'arroser la terre par des ruisseaux d'eau vive, ou de la pénétrer par des pluies fécondes, ne peut même l'humecter d'une simple rosée. Opposons ce tableau de sécheresse absolue d'une terre trop ancienne à celui des vastes plaines de fange des savannes noyées du nouveau continent, nous y verrons par excès ce que l'autre n'offrait que par défaut : des fleuves d'une largeur immense, tels que l'Amazone, la Plata, l'Orénoque, roulant à grands flots leurs vagues écumantes, et se débordant en toute liberté, semblent menacer la terre d'un envahissement et faire effort pour l'occuper toute entière; des eaux stagnantes et répandues près et loin de leur cours, couvrent le limon vaseux qu'elles ont déposé; et ces vastes marécages, exhalant leurs vapeurs en brouillards fétides, communiqueraient à l'air l'infection de la terre, si bientôt elles ne retombaient en pluies précipitées par les orages ou dispersées par les vents; et ces plages, alternativement sèches et noyées, où la terre et l'eau semblent se disputer des possessions illimitées; et ces broussailles de mangle jetées sur les confins indécis de ces deux élémens, ne sont peuplées que d'animaux immondes qui pullulent dans ces repaires, cloaque de la nature, où tout retrace les déjections monstrueuses de l'antique limon. Les énormes serpens tracent de larges sillons sur cette terre bour-

beuse ; les crocodiles, les crapauds, les lézards et mille autres reptiles à larges pattes en pétrissent la fange ; des millions d'insectes, enflés par la chaleur humide, en soulèvent la vase ; et tout ce peuple impur, rampant sur le limon ou bourdonnant dans l'air qu'il obscurcit encore, toute cette vermine dont fourmille la terre, attire de nombreuses cohortes d'oiseaux ravisseurs, dont les cris confus, multipliés et mêlés au croassement des reptiles, en troublant le silence de ces affreux déserts, semblent ajouter la crainte à l'horreur pour en écarter l'homme et en interdire l'entrée aux autres êtres sensibles..... (1) »

Les marais sont presque toujours remplis d'une grande quantité de végétaux, dont les racines s'enlacent de mille manières dans la vase qui forme leur lit. Il arrive quelquefois que des lambeaux plus ou moins grands, formés par cet ensemble de racines et de limon, se détachent du sol et viennent flotter à la surface ; bientôt après les racines s'allongent, pénètrent de nouveau dans la vase et fixent les îlots flottans que des végétaux gonflés d'air, et spécifiquement plus légers que l'eau , viennent d'élever à sa surface. Mais si le phénomène se passe sur le bord d'un lac, le vent transporte bientôt l'île naissante au milieu des flots qui lui prêtent leur appui mobile ; chaque jour on la voit voguer et parcourir toute la surface du lac. Les détritus formés sur cette île par la décomposition annuelle des végétaux qui y croissent, augmentent tous les ans, et des arbrisseaux s'élèvent au milieu des joncs et des roseaux ; long-temps après, de grands arbres étendent leurs rameaux sur ces jardins flottans, qui rappellent ceux des

---

(1) Buffon, *Oiseaux*. Article du *Kamichi*.

Chinois et des Mexicains. C'est ainsi que se forment des îles flottantes qui finissent par se fixer au fond des eaux, mais qui acquièrent cependant quelquefois une grande étendue, au point même que de grands terrains tourbeux peuvent ainsi se trouver séparés du sol par un couche d'eau plus ou moins épaisse.

On trouve dans les ouvrages de géographie un grand nombre d'exemples de ces sortes d'îlots. Pline, qui en avait déjà donné la théorie (1), cite ceux qui flottaient dans les lacs de Bolsena et Bressanello, qui maintenant sont entièrement fixés. Parmi les plus considérables, se trouvent ceux du lac de Gerdau, en Prusse, qui servaient de pâturage à un troupeau de cent têtes, et ceux du lac de Kolk, au pays d'Osnabruck, couverts de très-beaux ormes (2). Bergmann cite aussi en Suède, dans la Smoland, le lac Ralang, remarquable par un îlot flottant qui paraît et disparaît successivement. Depuis 1696 jusqu'à 1766, il s'est montré dix fois, et ordinairement aux mois de septembre et d'octobre. Il avait 280 pieds de long et 220 de large (3). Maltebrun en cite un semblable en Ostrogothie (4).

---

(1) *Histoire naturelle*, t. XI, c. 95.
(2) Kant, *Géographie physique*, t. XI, p. 1 et 114.
(3) Bergmann, *Géographie physique*, t. XI, p. 238.
(4) *Géographie universelle*, t. II, p. 134.

CHAPITRE HUITIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES LACS.

Nous avons déjà vu, en parlant des fleuves, que l'eau semblait diminuer à la surface de la terre; mais, indépendamment de cette cause générale, il en est d'autres qui tendent à combler le bassin des lacs, et dont l'effet se fait sentir plus ou moins promptement, suivant les circonstances locales.

Toutes les rivières qui se jettent dans les lacs y charrient plus ou moins les débris des montagnes d'où elles sortent et des contrées qu'elles arrosent. Ainsi, plus un lac est voisin de ces hautes montagnes d'où se précipitent des torrens qui roulent avec eux des débris de rochers, et plutôt son bassin sera comblé; tandis qu'un autre lac situé plus loin dans la plaine, et ne recevant que du sable et du limon, dont une partie ressort par son dégorgeoir, n'éprouvera qu'une diminution beaucoup plus lente.

On a cru pouvoir déterminer l'ancienneté relative des lacs d'après l'étendue des atterrissemens qui ont été formés dans leurs bassins par les rivières qui s'y jettent, mais il paraît très-difficile d'avoir là-dessus des données satisfaisantes.

Il faudrait surtout avoir égard aux circonstances locales pour chaque lac en particulier.

On voit, par exemple, que le *lac de Neuchâtel*, situé au pied du Jura, a déjà éprouvé une diminution très-considérable par les atterrissemens de l'Orbe, tandis que ceux du Rhône sont à peine sensibles dans le lac de Genève, quoique celui-ci soit probablement plus ancien.

Le lac d'Annecy, qui se trouve enclavé dans les montagnes, est déjà en grande partie comblé de leurs débris.

Le Lac d'Oo, dans les Pyrénées, est bien moins profond dans le lieu où tombe la cascade de Seculejo, parce que, comme l'a observé M. Boubée, cette cascade a accumulé des fragmens de rochers qui l'ont en partie comblé de ce côté.

La vallée de Chamouny paraît avoir été un lac, comme l'a reconnu Saussure. Mais, placé au milieu de montagnes élevées, dont les débris s'y rendaient journellement en suivant le cours de l'Arveyron et d'autres torrens, il fut bientôt comblé.

Le lac du Bourget, au contraire, qui se trouve à l'extrêmité d'un vaste bassin, qu'il remplissait sans doute autrefois, ne reçoit plus que des eaux paisibles et peu chargées de matières étrangères, qui pourront le traverser long-temps sans élever sensiblement son sol.

Des traces de l'abaissement des eaux dans les lacs se remarquent partout, surtout dans ceux qui occupent le milieu de vastes bassins, dans le centre des continens. Ainsi, le plus grand lac de l'Amérique du sud, celui de Titicaca, paraît avoir été autrefois une petite Caspienne, qui emplissait un bassin de 140 lieues de long sur 50 de large. Le lac n'en occupe plus que le fond; mais il a encore 70 lieues de longueur sur 20

environ dans sa plus grande largeur. Ses eaux sont extrêmement amères et légèrement saumâtres ; il en sort, vers le sud, une très-petite rivière qui est son seul écoulement, et qui va se jeter dans le petit lac salé *Desaguadero*, qui ne donne issue à aucun cours d'eau.

Le lac Tacarigua présente absolument les mêmes caractères, et l'on a remarqué depuis long-temps que l'équilibre est rompu entre la quantité d'eau qui s'évapore à sa surface et celle que viennent y verser quelques affluens des vallées d'Aragua.

« Depuis un demi-siècle, et surtout depuis trente ans, le dessèchement naturel de ce grand bassin a frappé tous les esprits. On trouve à sec, et déjà cultivés en bananiers, en cannes à sucre et en coton, de vastes terrains autrefois inondés. Partout où l'on construit une cabane au bord du lac, on voit fuir, pour ainsi dire, le rivage, d'année en année ; on découvre des îles qui, par la retraite des eaux, commencent à peine à se lier au continent (comme l'île rocheuse de la Culebra du côté de Guigue) ; d'autres îles forment déjà des promontoires (comme le Morro, entre Guigue et Nueva-Valencia, et la Cabrera, au sud-est de Mariara) ; d'autres encore s'élèvent, dans l'intérieur des terres, semblables à des monticules épars. Parmi ces dernières, si faciles à reconnaître de loin, les unes sont placées à un quart de mille, les autres à une lieue de distance du rivage actuel.

» L'apparition de nouvelles îles et la retraite progressive des eaux, ont fait voir que le lac pourrait bien se dessécher entièrement (1). »

---

(1) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. V, p. 169.

M. de Humboldt pense que les lacs dont le Mexique abonde, et dont la plupart paraissent diminuer d'année en année, ne sont que les restes de ces immenses bassins d'eau qui paraissent avoir existé jadis dans les hautes plaines de la Cordilière. Il cite parmi les principaux, le grand lac de Chapala, dans la nouvelle Galice, qui a près de 160 lieues carrées, et qui est du double plus grand que le lac de Constance, les lacs de la vallée de Mexico, qui n'occupent aujourd'hui que un dixième de la surface de cette vallée, le lac de Patzcuaro, dans l'intendance de Valladolid, un des sites les plus pittoresques qu'il ait rencontrés dans les deux continens, le lac de Mextitlan et celui de Parras, dans la nouvelle Biscaye (1). »

Mais de tous les phénomènes de ce genre, le plus curieux et le plus grand est sans contredit la diminution bien constatée des eaux du grand lac salé que l'on désigne sous le nom de mer Caspienne, et qui occupe en Asie, au pied du Caucase, une large dépression du sol, qui place le niveau de la mer Caspienne au-dessous du niveau actuel de l'Océan.

Les belles observations de Pallas sur cette singulière contrée, la présence de fossiles d'origine moderne sur les bords de la mer Caspienne, la disposition étagée de ses rivages, les grandes plaines sableuses, couvertes de mares d'eau salée qui la séparent de la mer Noire, et jusqu'à l'analogie des animaux marins qui habitent les deux bassins, tout prouve que la Caspienne était autrefois réunie à la mer Noire, qui aujourd'hui est élevée de 283 pieds au-dessus de son niveau.

---

(1) Humboldt, *Essais politiques sur la Nouvelle Espagne*, t. I, p. 279.

Ce que les études géologiques indiquent de la manière la plus claire, l'histoire vient, en quelque sorte, le confirmer, puisque l'abaissement des eaux, qui a dû être d'environ 400 pieds, semble s'être opéré en partie depuis les temps historiques. En effet, il existe à 60 lieues environ de cette mer, le lac Aral, dont l'étendue est bien moins considérable, mais dont les eaux salées, comme celles de la Caspienne, contiennent aussi une certaine quantité de sulfate de soude. L'espace qui sépare ces deux lacs est une plaine ou plutôt un désert où l'on trouve un grand nombre de petites mares salées.

Le Wolga, qui est comme on le sait le plus grand fleuve de l'Europe, vient conduire ses eaux dans la Caspienne, qui est encore alimentée par plusieurs autres petits fleuves. De son côté, le lac Aral reçoit aussi quelques affluens, mais aucuns du côté de l'occident, qui est dirigé vers la Caspienne, qui reste aussi sans affluens du côté de l'Aral. Ces caractères avaient déjà fait présumer à Buffon que ces deux grands lacs avaient été réunis.

Hérodote, qui regardait le grand lac qui nous occupe comme une mer particulière, ne fait nullement mention du lac Aral, et indique même un des fleuves qui se rend actuellement dans ce dernier comme tributaire de la Caspienne. Dans la carte de Ptolomée, qui vivait l'an 138 de notre ère, les deux bassins sont réunis. Ils ne le sont plus dans celle d'Abulfeda, qui parut en 1162; mais l'espace qui les sépare est moins étendu qu'il n'est actuellement. Peut-être ne doit-on pas avoir beaucoup de confiance à des cartes dessinées à ces deux époques, ni aux descriptions géographiques d'Hérodote; cependant, toutes ces considérations et un grand nombre d'autres que nous ne

pouvons énumérer dans un ouvrage de cette nature, prouvent que les eaux qui étaient contenues dans la grande cavité centrale de l'Asie ont constamment diminué d'étendue, et que, probablement, leur niveau baisse encore, car le Wolga et les autres fleuves qui viennent s'y jeter ne compensent pas l'évaporation produite à sa surface. C'était donc autrefois une mer et non un lac, puisqu'elle communiquait à la mer Noire, aujourd'hui plus haute que la Caspienne de 283 pieds, et séparée d'elle par l'arête des deux bassins dont la hauteur peut encore être évaluée à 120 pieds. Voilà donc une diminution de 400 pieds qui continue encore de nos jours, mais qui, à cause de l'étendue du bassin, est moins sensible pour nous que celle des lacs salés de l'Amérique méridionale.

Il faut remarquer que les grands lacs salés occupent toujours le centre de bassins plus ou moins étendus qui reçoivent les eaux des pays environnans.

Après la mer Caspienne on peut citer la mer Morte, ou grand lac asphaltique dont les eaux augmentent en salure à mesure qu'elles s'évaporent. Le Jourdain et les autres petits fleuves qui s'y rendent ne peuvent pas compenser la masse d'eau que l'évaporation enlève chaque jour sous un climat si ardent. Le niveau du lac doit baisser, tandis qu'à une époque reculée et avant les commotions volcaniques qui ont bouleversé toute la contrée, la mer Morte communiquait peut-être à la mer Rouge, ou du moins le Jourdain, après avoir traversé ce bassin, pouvait lui-même y conduire ses eaux.

La division du sol en bassins fermés avec lacs permanens, comme ceux que nous venons de citer, et comme tous les petits bassins fermés avec *Chasma* de la Grèce, du Jura, de la Dalmatie, permet d'apprécier

avec assez de facilité la diminution des amas d'eau à la la surface des continens. Cette diminution, causée par l'évaporation, est d'autant plus grande que l'eau se répand sur une plus grande surface, comme dans la mer Caspienne, ou que son volume est moins considérable, comme en Grèce. Là, de profondes crevasses existent au fond des lacs, et l'eau, pénétrant dans l'intérieur du sol, est soustraite à l'action de la chaleur solaire, et va plus loin s'échapper sous forme de sources abondantes et limpides.

Si, actuellement, nous abandonnons l'étude de ces bassins fermés ou de ces grandes dépressions du sol pour étudier l'eau dans les grandes vallées, dont les fleuves marquent à la fois la pente et la direction, nous allons voir que le lit des fleuves se compose souvent d'une série de bassins situés les uns au-dessus des autres, et qui avant la diminution des eaux et l'érosion de leurs digues, devaient former autant de grands lacs communiquant ensemble.

On remarque facilement cette disposition dans la grande vallée du Danube, successivement élargie et étranglée, au point que plusieurs de ces bassins se transforment encore en lacs lors des débordemens du fleuve.

Un fait semblable arrive à la *Samara*, un des affluens les plus considérables du Wolga, et qui a sa source dans les monts Ourals. Son lit, très-sinueux, est creusé dans une large vallée qui, pendant la fonte des neiges, devient un lac et par suite un marais.

La saison des pluies, sous les tropiques, produit quelquefois des débordemens considérables dans les rivières de ces contrées. Elles forment alors de grands lacs périodiques qui se remplissent et se vident à des époques déterminées. Telle est la formation du lac de

Xarayes, au Brésil, qui occupe toutes les rives du Guyaba et du Paraguay. Ce lac a alors plus de 100 lieues de long sur 40 de large.

Le fleuve Saint-Laurent, dans le Canada, offre encore lui-même plusieurs grands lacs qui se versent les uns dans les autres, et qui un jour seront de vastes plaines au centre desquelles il promènera majestueusement ses eaux. Il est probable que les bassins de Saint-Pierre et de St-François, qui sont les plus rapprochés de Québec seront les premiers émergés. Il est facile de voir que plusieurs des plaines qu'il arrose au-dessus de cette ville étaient autrefois des lacs, et la rapidité avec laquelle il mine le terrain entre le lac Erié et le lac Ontario, aux fameuses chutes du Niagara, indique bien que ses eaux abandonneront un jour les immenses réservoirs qui les contiennent aujourd'hui.

Les rochers situées sur les rives du lac Supérieur présentent, à 6 pieds au-dessus du niveau actuel des eaux, des traces évidentes d'érosion, tandis que le phénomène des seiches qui s'y fait sentir n'en élève jamais les vagues au delà de 12 pouces : que l'on juge de l'énormité d'une couche d'eau de 6 pieds sur une telle étendue.

Le dégorgeoir des lacs étant continuellement soumis à la pression d'une partie de la masse de liquide qu'ils renferment, il s'ensuit que leur digue doit s'user, et que leur niveau doit nécessairement baisser; c'est effectivement ce que nous venons de voir tout à l'heure, et ce que Saussure a remarqué et décrit avec son admirable talent.

« Sur le mont Cenis se trouve un lac qui est de plus d'un quart de lieue de longueur, et d'une profondeur considérable, mais qui s'élevait autrefois beaucoup plus haut qu'aujourd'hui, ainsi qu'on peut en juger par les traces horizontales qu'il a laissées sur les rochers envi-

ronnans, et l'une des principales causes de sa diminution est l'approfondissement de son dégorgeoir. La Cenise qui en sort a laissé sur les parois de son canal des traces incontestables, à plus de 30 pieds de sa surface actuelle. (§ 1244.)

Ce savant observateur a fait des remarques encore plus importantes sur l'ancien dégorgeoir du lac de Genève, qui fut autrefois l'endroit où l'on a construit le fort de l'*Écluse*. Ce lac avait nécessairement alors une élévation et une étendue beaucoup plus considérables qu'aujourd'hui, ainsi que Saussure le démontre parfaitement bien lui-même.

« Diverses considérations, dit-il, et surtout celle de l'issue par laquelle le Rhône sort du bassin de nos montagnes, concourent à prouver cette vérité.

» Cette issue est une échancrure profonde et étroite, creusée par la nature, entre la montagne de Vouache et l'extrêmité du mont Jura. Ce passage se nomme l'*Écluse*, dénomination qui représente très-bien une issue ouverte aux eaux entre de hautes montagnes.

» Cette issue est la seule par laquelle le Rhône puisse sortir du sein de nos montagnes; si elle se fermait, nos plus hautes collines seraient submergées..... *Il paraît cependant probable que ce passage était originairement fermé.....*

» La montagne de Vouache paraît être une continuation de la première ligne du Jura. Le Vouache et le Jura étaient anciennement unis, et ne laissaient par conséquent aucun passage aux eaux renfermées dans notre bassin; mais comment cette ouverture s'est-elle formée?..... Il suffit que le haut de la montagne ait été un peu plus abaissé dans un endroit, qu'elle ait formé là une espèce de gorge, les eaux auront pris cette route,

et auront peu à peu rongé et excavé leur lit jusqu'au point où nous le voyons.

» J'ai cherché les traces de ces érosions; j'ai cotoyé le lit du Rhône;.... j'ai vu avec plaisir les larges et profonds sillons qu'il a tracés sur ces rochers calcaires..... La plus remarquable de ces traces est un sillon creusé dans le roc à peu près horizontalement; *il est situé à plus de 20 pieds au-dessus du point où s'élève aujourd'hui le Rhône dans le temps de ses plus hautes eaux.*» (§ 215.)

Mais ceci n'est rien en comparaison de l'élévation où l'on retrouve fréquemment les mêmes traces sur les montagnes des environs de Genève. « Les tranches nues et escapées des grandes couches du petit et surtout du grand Salève présentent presque partout les traces les plus remarquables du passage des eaux qui les ont rongées et excavées.....

» On peut observer ces excavations sur presque toutes les faces des rochers du mont Salève, *du moins jusqu'à la moitié ou les deux tiers de sa hauteur.* » (§ 221 et 225.)

« Or, l'élévation du mont Salève est de 512 toises au-dessus du niveau actuel du lac. Il est donc évident que la surface du Rhône s'élevait jadis à 300 toises au moins plus haut qu'aujourd'hui. »

Quel que soit le degré de confiance qu'il soit permis d'ajouter à cette dernière assertion de Saussure, il n'en est pas moins vrai que les eaux qui concourent avec le Rhône supérieur à former le lac Léman, furent jadis tellement abondantes, qu'elles remplissaient l'immense bassin qui s'étend jusqu'au fort l'Ecluse, et que là il sortait un fleuve vingt fois plus gros peut-être que le Rhône actuel. Il est probable cependant qu'il diminuera ainsi graduellement dans la suite des siècles, jus-

qu'à ce qu'enfin le lac de Genève n'ait plus de trop-plein (1).

Si la diminution des eaux a été si marquée sur nos petits lacs, elle doit en avoir offert des traits bien plus saillans sur les contrées basses de l'Asie et de l'Amérique; en effet, les beaux travaux de M. J. de Klaproth indiquent que les traditions chinoises annoncent l'existence d'une mer intérieure qui couvrait les grandes plaines de la Sibérie, situées entre l'Irtyche et l'Ob, sur les steppes de Baraba (2). Nous avons déjà dit que, selon toute apparence, les bassins des fleuves Saint-Laurent et du Mississipi étaient autrefois confondus, à une époque où peut-être des lacs immenses couvraient encore une grande partie de l'Amérique, comme M. de Humboldt semble l'indiquer dans une de ces idées je-

(1) Ce n'est pas toujours graduellement et après un laps de temps considérable que les lacs usent leurs digues: cet effet a lieu quelquefois instantanément, comme dans l'exemple remarquable qui fut rapporté par les journaux russes, au sujet du lac de *Souwando.* Ce lac, situé dans le gouvernement russe de Wiborg, à l'ouest du lac Ladoga, avait environ neuf lieues de longueur sur une de large, et était cependant le plus petit de la Finlande. Il était séparé du lac Ladoga par un espace d'un quart de lieue de largeur sur lequel s'élevait une colline de sable; l'excès de ses eaux dégorgeait dans la Wuoxa, petite rivière qui va du lac Sayma au lac Ladoga. Le 14 mai, les eaux de ce lac Souwando, gonflées par la fonte subite des neiges et par les vents, se précipitèrent sur la colline qui lui servait de barrière, la détruisirent, en entraînèrent les débris et se réunirent pour toujours au lac de Ladoga. Son niveau baissa de 29 pieds; sa longueur n'est plus que de trois lieues. Ses eaux ne se déversent plus dans la Wuoxa, mais elles tombent en cascades dans un canal qu'elles ont creusé. Les habitans se sont emparés, pour le cultiver, du vaste espace délaissé par les eaux.

(2) *Journal de Klaproth*, *Magasin encyclopédique*. Septembre 1817, p. 134.

tées au hasard, mais qui caractérisent à la fois l'homme de génie et le profond observateur.

« Si d'autres faits géologiques nous autorisaient à re-
» garder les trois grandes plaines du Bas-Orénoque,
» de l'Amazone et du Rio de la Plata, comme des bas-
» sins d'anciens lacs, on croirait reconnaître, dans les
» plaines du Rio-Vichada et du Meta, un canal par
» lequel les eaux du lac Supérieur, celles des plaines
» de l'Amazone, se sont frayé un chemin vers le bassin
» inférieur, celui des *Llanos* de Caracas, en séparant la
» Cordillère de la Parime de celle des Andes. Ce canal
» est une espèce de détroit terrestre (1). »

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 61.

CHAPITRE NEUVIÈME.

DES MERS.

On donne ce nom à de *grands amas d'eau salée* qui occupent les parties les plus basses de la terre, et en recouvrent environ les trois quarts. La majeure partie de cette eau environne les continens, et constitue ce qu'on appelle l'*Océan*. Celui-ci pénètre plus ou moins dans les terres et forme des mers partielles qui restent en communication avec la mer principale; on les désigne sous le nom de *méditerranées*, parce qu'en effet la terre les entoure, excepté au point où existe la communication. Enfin, de grands amas d'eau salée existent aussi sans issue dans l'intérieur des terres, aucun détroit ne les réunit à l'Océan, aucun cours d'eau considérable ne les met en communication avec d'autres mers; ce sont des *caspiennes*, que nous avons considérées comme de vastes lacs.

Le point de jonction de la terre et de l'eau prend le nom de *rivage*. Si deux rivages se rapprochent, ils forment un *détroit*. Les montagnes ou les langues de terre qui avancent dans la mer sont des *caps* et des *promontoires*; les sommets élevés qui paraissent au-dessus des eaux sont des *îles*, et les vallées par lesquelles l'eau de la mer entre dans les terres, constituent des *golfes* si elles appartiennent au continent, des *baies* si elles se trouvent dans des îles.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES MERS.

M. Bory de Saint-Vincent, que nous prendrons souvent pour guide dans cet article, est le premier qui ait donné une bonne distribution géographique des mers. Il distingue, comme nous venons de le faire, l'Océan, les méditerranées, les golfes et les caspiennes.

Océan.

C'est cette immense quantité d'eau qui environne les continens et recouvre les trois quarts de la terre. Nous y admettrons avec M. Bory les cinq régions suivantes :

1° *Océan arctique.* — Son centre est supposé au pôle arctique ou boréal. Les côtes du Groënland, de l'Islande, de l'Écosse, de Norwège, de Russie, de l'Asie et de l'Amérique du Nord, sont ses rivages. Les îles Féroée, du Spitzberg, de la Nouvelle-Zemble et Liakof en sont les archipels. Cet océan communique avec le suivant par le détroit de Bhéring, peut-être par la baie de Baffin, enfin par le canal plus large qui s'étend de la mer des Esquimaux aux rivages écossais.

2° *Océan atlantique.* — Il est borné au nord par le précédent, dans la direction d'une ligne qu'on peut tirer des côtes nord-est du Labrador jusque vers les Hébrides. Il est contenu entre l'Ancien et le Nouveau-Monde ; il finit au midi, obliquement, dans une ligne qui s'étendrait de la pointe méridionale de l'Afrique vers le détroit de Magellan, en passant par les Malouines. L'équateur le partage en deux parties à peu près égales, de sorte qu'on pourrait le subdiviser en boréal et austral. Les îles de la première subdivision sont Terre-Neuve, les Bermudes, les Açores, Madère et les Cana-

ries; celles de la partie équinoxiale sont l'archipel du Cap-Vert, l'Ascension, Sainte-Hélène, Martin-Vas avec quelques rochers épars dans le golfe de Guinée. Les îles de Tristan d'Acunha sont les seules qui méritent d'être citées dans la partie méridionale.

C'est dans la partie septentrionale de cet océan, que l'on observe le Gulf-Stréam, grand courant que nous étudierons dans l'un des paragraphes suivans.

3° *Océan antarctique.* — C'est le plus grand de tous. Il enveloppe le pôle antarctique et ses montagnes de glace. Aucun continent n'est baigné par cet océan, dans la direction duquel s'avançent toutes les pointes méridionales de la terre habitable, sans pour cela y atteindre. Ainsi, l'extrêmité de l'Afrique, les côtes de l'Australasie, y compris celles de la Terre de Lewin, jusqu'aux antipodes de Paris, et l'extrêmité de l'Amérique méridionale, sont exposées à son influence, sans que les flots en viennent baigner immédiatement les rivages. Les îles sont celles de la Désolation et quelques écueils privés de végétation.

4° *Océan indien.* — Il confine vers le sud avec l'océan dont nous venons d'indiquer les limites, en suivant la courbe qu'on tirerait du midi de l'Afrique à la Terre de Lewin par la côte septentrionale de la Terre de Kergulen; les côtes africaines de l'est le bornent à l'occident, les rives occidentales de l'Australasie au levant, et les îles de la Sonde, les côtes de l'Inde, de la Perse, avec celles de l'Arabie, le contiennent au nord; Madagascar et Ceylan y sont comme des fragmens de continens détachés. Les îles Trials, des Cocos, de Nicobar, d'Andaman, de Chagos, Maldives, Laquedives, Rodrigue, de France, de Bourbon, des Séchelles, de Comore, et Socotota, y forment des archipels ou des terres isolées.

5° *Océan pacifique.* — Il est situé entre la Polynésie

ou Océanie, l'Asie orientale, l'Amérique occidentale et l'Océan antarctique. Cet océan, très-ouvert vers le sud, s'y termine à peu près dans la ligne sinueuse qu'on peut tirer de la Terre de Van-Diémen à la Nouvelle-Zélande, et de celle-ci vers les côtes du Chili. Les îles Aléoutiennes, au nord, en séparent la mer de Bhéring. Des archipels nombreux, dont plusieurs sont à peine connus, en remplissent la plus grande partie, surtout entre les tropiques, à l'est de la Polynésie.

Méditerranées.

Celles-ci sont assez nombreuses et le deviendront peut-être davantage par la suite. Elles communiquent toujours avec l'Océan, mais plusieurs d'entre elles sont privées des marées qui agitent continuellement ses eaux.

1° *Méditérannée proprement dite.* — Elle sépare l'Europe de l'Afrique, à peu près entre les 30e et 45e degrés de latitude nord, et s'étend de l'est à l'ouest depuis l'Asie jusqu'aux colonnes d'Hercule, dans une longueur d'environ 900 lieues; sa largeur est bien moins considérable.

La mer Noire, dont celle d'Azof n'est qu'un appendice, doit en être considérée comme une dépendance, et la mer Adriatique y est comme une méditerranée secondaire qu'en distingue le canal d'Otrante.

2° *Méditerranée Scandinave ou mer Baltique.* — Elle est entièrement européenne et septentrionale; elle suit une direction presque perpendiculaire à la précédente, et sa largeur est de 30 à 80 lieues environ de l'est à l'ouest; elle s'étend en longueur depuis le 54e parallèle jusqu'au 66e environ. Le golfe de Bothnie

dans sa partie boréale, de Finlande vers l'est, et de Livonie, en sont les principaux enfoncemens riverains; elle communique à la mer du Nord, par où s'avance, vers le sud, l'Océan arctique, au moyen de détroits que forment, entre la presqu'île de Jutland et la Suède méridionale, des îles dépendant de la couronne de Dannemark. Rugen, Bornholm, Oland, Gothland, Oësel, Dago et Aland, en sont les autres îles principales. Une multitude de rochers forment l'archipel d'Abo, entre cette dernière et la Finlande.

3° *Méditerranée Erythréenne ou mer Rouge.* — Elle sépare l'Afrique de l'Asie; c'est la plus étroite de toutes; la marée y est très-sensible; elle n'a que 70 lieues de l'est à l'ouest, sous le tropique du cancer qui la traverse, et 80 lieues dans sa plus grande largeur, entre l'Yémen et les confins septentrionaux de l'Abyssinie; sa longueur, prise du nord-ouest, c'est-à-dire du fond de la corne de Suez jusqu'au détroit de Bab-el-Mandel, par le sud-ouest, est d'environ 8 degrés de latitude.

4° *Méditerranée Persique.* — Elle est située entre la Perse et l'Arabie, et se lie à l'Océan par un seul détroit qui lui commuique les mouvemens de flux et reflux; sa longueur est peu considérable. On la considère ordinairement comme un golfe; et c'est sous ce nom qu'elle est désignée sur les cartes.

M. Bory considère encore comme mers méditerranées :

5° *Méditerranée Sinique.* — Elle s'étend depuis l'extrêmité boréale de la Manche de Tartarie jusqu'à l'extrêmité de la presqu'île de Malaca. Elle communique à l'Océan par un grand nombre de détroits qui disparaîtront, selon M. Bory, et formeront alors une véritable méditerranée.

6° et 7° *La mer d'Okhotsk et celle de Bhéring*, toutes deux rapprochées du pôle.

8° *La méditerranée Colombienne*, dans laquelle il réunit le golfe du Mexique et la mer des Antilles.

9° *La baie d'Hudson*, dans le nord du continent américain, et dont on ne connaît pas encore bien les contours.

M. Bory suppose que le nombre des méditerranées augmentera, que les détroits disparaîtront, et qu'il se formera, dans l'intérieur des terres, des mers isolées comme celles que nous avons étudiées sous le nom de *caspiennes*. Nous reviendrons, à la fin de cet article, sur ces idées théoriques.

Caspiennes.

M. Bory désigne ainsi les mers intérieures ou les lacs d'eau salée. La salure de l'eau est, selon lui, ce qui distingue les caspiennes des lacs, qu'il considère toujours comme remplis par des eaux douces. Il place dans cette série la Caspienne proprement dite, située entre l'Asie et l'Europe; la mer d'Aral, à l'orient de la précédente, et beaucoup plus petite qu'elle; la mer Morte et la mer Baikal, qui ne sont que de grands lacs.

Nous n'étendrons pas plus loin cette esquisse géographique de la distribution des mers; nous allons étudier les principaux phénomènes qu'elles présentent.

DU MOUVEMENT DES MERS.

Trois causes principales, périodiques ou continuelles, changent à chaque instant la surface des mers, mélangent les flots et empêchent l'équilibre parfait qui ré-

gnerait dans toutes les couches de l'Océan si aucune force perturbatrice ne venait en agiter les eaux.

La première de ces causes, celle qui détermine sur l'étendue des mers les oscillations du flux et du reflux, dépend presqu'entièrement d'attractions planétaires, et nous l'avons déjà étudiée dans la première partie de cet ouvrage comme un phénomène astronomique.

La seconde est due aux vents, qui sont quelquefois très-impétueux, et qui peuvent soulever les flots avec bien plus de force que l'attraction qui détermine les marées. Nous avons aussi décrit les vents, les trombes et les tempêtes, nous n'y reviendrons pas; il nous suffira de dire quelques mots des vagues, en parlant de la physionomie des eaux.

La troisième est la seule qui nous reste à examiner, et celle qui peut-être contribue le plus puissamment au mélange des eaux. Ce sont les *courans* qui existent, soit à la surface, soit à de certaines profondeurs, et dont la cause est loin d'être bien connue.

Pour étudier les courans avec plus de méthode, nous allons d'abord énumérer les principaux, et à cet effet nous les partagerons en quatre classes :

1° En courans constans; 2° courans périodiques; 3° courans temporaires; 4° courans accidentels.

Les deux dernières classes ont peu d'importance.

1° *Courans constans.*

Les courans constans sont ceux qui existent dans toutes les saisons, dans des directions qui sont sensiblement les mêmes, mais leur vitesse peut varier. Leur constance est telle que les navigateurs s'en servent comme de grands fleuves pour se diriger sur différens points de l'Océan, et souvent ils changent de direction

pour profiter de ce singulier moteur. C'est ainsi que pour aller d'Europe en Amérique on descend jusqu'à la latitude des Canaries, pour prendre le courant qui porte avec rapidité à l'occident, et l'on fait de même pour aller d'Amérique en Asie par l'Océan Pacifique.

Un des principaux est le grand courant qui partant de la mer des Indes va doubler le cap de Bonne-Espérance et remonte ensuite le long de la côte d'Afrique, presque sous les régions équatoriales, puis il traverse l'Atlantique et va frapper les rivages de l'Amérique. Ce continent lui oppose une barrière insurmontable; l'eau s'accumule par la force d'impulsion qu'elle en reçoit, et s'échappe par le détroit de la Floride, formant ainsi un courant considérable qui se dirige vers le nord, tourne à l'est, au sud-est, se dirige vers les côtes occidentales de l'Europe et du nord de l'Afrique, et vient ensuite se réunir avec la partie nord du courant équatorial, et traverse de nouveau l'Atlantique.

Entre les îles Laquedives, près de la côte de Malabar et le cap de Bassas, sur la côte orientale de l'Afrique, il y a un courant constant vers l'ouest, ou plus exactement au sud-ouest ou à l'ouest-sud-ouest, avec une vîtesse de 8 à 12 milles par jour. Au sud de l'équateur, dans la mer des Indes, les courans portent vers l'ouest. Enfin, dans le canal de Mozambique, pendant la saison des moussons du nord-est, des courans se dirigent, au sud, tout le long de la côte d'Afrique, et de même, plus au large, avec une vîtesse d'environ 7 à 8 lieues par jour, tandis que, sur la côte de Madagascar, les courans ont une direction en sens contraire. A l'extrémité méridionale de l'Afrique, les courans venus de la partie nord-est, tournent le banc des Aiguilles (banc de *Agulhas* ou de *Lagullas*), qui présente une étendue considérable, et qui, d'après les sondages qui y ont

été faits, a un fond de vase à l'ouest du cap des Aiguilles, et, à l'est, un fond de sable mêlé d'une grande quantité de petites coquilles. Rennel nous apprend que ce courant acquiert sa plus grande force dans l'hiver, et que sa partie la plus extérieure s'avance vers le sud jusqu'au 39e degré de latitude sud avant de tourner au nord; après quoi il remonte lentement le long de la côte occidentale de l'Afrique, jusqu'à l'équateur, et même au-delà. La vîtesse générale du courant autour du banc n'est pas encore bien connue. Seulement on sait qu'il a transporté un vaisseau à une distance de 170 milles en cinq jours, ce qui fait 32 milles par jour.

Au-delà de Sainte-Hélène, ce courant se mêle au courant équatorial de l'Atlantique, et se porte, de la mer d'Éthiopie, aux Indes occidentales. Sa vîtesse, dans ce trajet, n'a pas encore été exactement déterminée, mais on l'évalue généralement à un mille et demi par heure, en s'accroissant à mesure qu'il avance vers l'ouest; sur sur les côtes de la Guyane, elle s'élève à 2 ou 3 milles par heure. Le capitaine Sabine qui, partant de Maraham en 1822, navigua dans ce courant, porte sa vîtesse à 99 milles par jour, ce qui est un peu plus de 4 milles par heure. La direction de la partie centrale du courant est vers l'ouest-nord-ouest.

De la Trinité au cap de la Vela, sur la côte de la Colombie, les courans balaient les îles voisines en tournant un peu au sud, suivant le détroit d'où ils viennent. Leur vîtesse est d'environ un mille et demi par heure, avec de légères variations. Entre les îles et la côte, et principalement près de celle-ci, on remarque que le courant va tantôt vers l'ouest, tantôt vers l'est. Du cap de la Vela, la principale partie du courant se dirige à l'ouest-nord-ouest; et comme il s'élargit, sa marche devient moins rapide. Il y a néanmoins une branche qui

se porte avec une vîtesse d'un mille par heure sur la côte de Carthagène. A partir de ce point, et dans l'espace compris entre la côte et les 14° de latitude, on a observé que les eaux se meuvent vers l'ouest dans la saison sèche, et vers l'est dans la saison des pluies.

On a assuré qu'un courant constant pénètre dans le golfe du Mexique par la partie ouest du canal de Yucatan; tandis qu'il y a généralement dans la partie est du même canal un contre-courant qui a tourné le cap St-Antoine de l'île de Cuba.

Sur les côtes septentrionales de Saint-Domingue, de Cuba, de la Jamaïque, et dans le canal de Bahama, les courans paraissent variables : leur plus grande vîtesse est d'environ deux milles par heure.

L'accumulation des eaux dans la mer des Caraïbes et le golfe du Mexique n'en élève pas le niveau autant qu'on serait tenté de le supposer. La différence de niveau entre la mer Pacifique et la mer du Mexique, observée par M. Lloyd, dans ses recherches sur l'isthme de Panama, est de 3,52 pieds (1 mètre 73 millimètres), et est à l'avantage de la mer pacifique, résultat auquel on était loin de s'attendre. Cependant les mesures ont été prises avec tant de soin, qu'il n'est guère permis de douter de l'exactitude. La haute mer est, à Panama, de 13,55 pieds (4 mètres 13 centimètres) plus élevée qu'à Chagres sur l'Atlantique; mais il résulte de la différence des marées sur les deux rives de l'isthme, qu'à la marée basse, l'Atlantique est de 6,51 pieds (près de 2 mètres) supérieure à l'Océan Pacifique; or, si nous considérons quel immense volume d'eau est ainsi accumulé par l'action des courans, pour produire, sur une surface aussi vaste que celle du golfe du Mexique, une élévation de huit pieds et même moins, au-dessus de l'Océan Atlantique, nous se-

rons moins surpris de la vîtesse du courant due à l'écoulement de cette masse d'eau par le détroit de la Floride.

La température des eaux qui se sont échauffées dans le golfe du Mexique et la mer des Caraïbes, étant plus grande que celle des eaux situées au nord des tropiques à travers lesquelles coule le courant du golfe (Gulf-Stream), leur pesanteur spécifique doit aussi être moindre, et par conséquent elles doivent s'épandre sur des eaux plus froides et par suite plus pesantes, précisément comme cela a lieu pour les fleuves qui se jettent dans la mer et qui continuent de couler ainsi jusqu'à ce que leur marche, graduellemennt ralentie, cesse entièrement.

Un courant très-remarquable est le grand courant atlantique septentrional, si connu sous le nom de *Gulf-Stream*, et qui parcourt une immense courbe fermée, dont le développement est d'environ 3,800 lieues.

Des Canaries, vers lesquelles il circule, à partir des côtes d'Espagne, il pourrait conduire en treize mois aux côtes de Caracas; il met dix mois à faire le tour du golfe du Mexique, d'où il se jette, pour ainsi dire, par une accélération de vîtesse, dans le canal de Bahama, après lequel il prend le nom de courant des Florides; il longe alors les États-Unis et parvient, en deux mois, vers le banc de Terre-Neuve; de Terre-Neuve aux Canaries, en passant près des Açores, et se dirigeant vers le détroit de Gibraltar, d'où il se courbe au sud-ouest, le Gulf-Stream achève de parcourir la fin de sa révolution qui dure presque trois ans et dix à onze mois.

La vîtesse et par conséquent la largeur de ce courant sont extrêmement variables, et les vents mêmes ont sur cette vîtesse une très-grande influence. Sous

le méridien de la Havane, sa direction est nord-est, et il avance d'environ deux mille et demie à l'heure. A la hauteur de la pointe la plus méridionale de la Floride, et à environ un tiers de sa largeur, à partir des rescifs, il parcourt quatre milles à l'heure, et sa vîtesse croît encore un peu entre la Floride et les îles Bernini. Sur la côte de Cuba, il n'y a qu'un très-faible courant, partant à l'est. Un contre-courant descend le long des côtes de la Floride, vers le sud-ouest et l'ouest, et les petites embarcations en profitent pour venir des côtes septentrionales.

Vers la fin de 1822, le capitaine Sabine, après avoir dépassé le cap Hatteras, a mesuré la vîtesse du Gulf-Stream, et a trouvé qu'elle était de 77 milles par jour; mais le capitaine Livingston fait remarquer qu'on ne peut guère compter sur la vîtesse observée en différens points de ce courant. Il rapporte avoir trouvé, les 16 et 17 août 1817, une vîtesse de cinq nœuds et plus; les 19 et 20 février 1819, elle était presque imperceptible, et en septembre 1819, il la trouva à peu près telle que la donnent les cartes marines.

Un courant violent vient des mers polaires, à travers le détroit de Davis et la baie d'Hudson; on l'appelle communément le courant du Groenland, ou le courant polaire. Il descend, au sud, le long de la côte d'Amérique à Terre-Neuve, entraînant avec lui d'énormes glaçons jusqu'au-delà du grand banc de Terre-Neuve. Les capitaines Ross et Parry ont trouvé que sa vîtesse était de trois à quatre milles par heure dans la baie de Baffin et le détroit de Davis.

Un courant, venant des régions polaires, existe dans la partie nord de l'Atlantique, entre l'Amérique et l'Europe. Lors de l'expédition entreprise par le capitaine Parry pour atteindre le pôle nord sur la glace, il

produisit un mouvement des glaces, vers le sud, qui fut tel qu'il l'obligea d'abandonner l'expédition.

Le courant polaire, venu du détroit de Davis, paraît se mêler au Gulf-Stream, et tournant alors à l'est, se diriger vers les côtes de l'Europe et de l'Afrique. En dehors des côtes de Terre-Neuve, sa vîtesse est quelquefois de deux milles par heure; mais elle est grandement modifiée par les vents. A environ 5 degrés à l'ouest du cap Finistère, il parcourt trente milles par jour.

Entre le cap Finistère et les Açores, on observe une tendance générale des eaux de la surface vers le sud-est, laquelle varie en hiver. En septembre 1833, le lieutenant Hare navigant entre les latitudes nord 45°,20 et 43°,40, et les longitudes ouest 22°,30 et 16°, rencontra un courant qui portait à l'est-sud-est, avec une vîtesse d'un mille et demi par heure. Rennel remarque, relativement aux courans observés entre le cap Finistère et les îles Canaries, que l'on peut regarder comme certain que toute la surface de la mer Atlantique comprise entre les parallèles des 30e et 45e degrés de latitude nord, et au-delà, et à une distance de 100 à 130 lieues du rivage, a un mouvement dirigé vers le détroit de Gibraltar.

Près de la partie des côtes d'Espagne et de Portugal qui porte le nom de Wall, le courant se dirige constamment vers le sud, après avoir été plutôt vers l'est, à la hauteur du cap Finistère, et il continue ainsi jusqu'au parallèle de 25° de latitude nord, et se fait sentir jusqu'au-delà de Madère, qui est au moins à 130 lieues de la côte d'Afrique. Plus loin commencent les courans sud-ouest, dus sans aucun doute à l'action des vents alisés. D'après Rennel, la vîtesse des eaux du courant varie considérablement, étant de 12 à 20 milles

et plus par jour. Il regarde 16 milles comme au-dessous du terme moyen.

Un courant règne le long de l'Afrique, depuis les Canaries jusque dans le golfe de Guinée, passant à l'ouest de la baie de Biafra; il est interrompu par la saison des pluies et par les vents harmattan. Sa vîtesse du cap Bojador aux îles de Los n'excède jamais un mille et demi par heure près de la côte; et sur le bord extérieur du banc, le plus souvent elle est au-dessous d'un mille. A quatre lieues de la côte, elle n'est que d'un demi mille et même moins. Sous le méridien, qui passe à 11° ouest de longitude, sa vîtesse est de 25 milles vers l'est-sud-est en vingt-quatre heures. A la hauteur du cap de Palmas, il se dirige à l'est avec une vîtesse de 40 milles par jour. Depuis le cap des Trois-Pointes jusqu'à la baie de Benin, sa vîtesse varie de 15 à 30 milles. A partir de ce point, sa force décroît. Il tourne au sud, puis au sud-ouest, entre les 6e et 8e degré de latitude sud, et de là revient au nord-ouest vers les îles du cap Vert. On pense toutefois que le courant qui se meut vers l'est, dans le golfe de Guinée, ne forme pas exactement continuité avec celui qui coule du cap Bojador au sud.

On a indiqué un courant qui va, pendant la plus grande partie de l'année, de la mer Pacifique dans l'Atlantique, en longeant les côtes de la Terre-de-Feu, et doublant le cap Horn. Entre le détroit de Magellan et l'équateur, nous trouvons sur toute la côte occidentale de l'Amérique du sud un courant dirigé vers le nord. A quatre-vingts lieues de la côte, entre le 15e degré de latitude sud et l'équateur, et même jusqu'au 15e degré de latitude nord, les eaux courent généralement à l'ouest. Le capitaine Hall cite, à la hauteur des îles Galapagos, un courant dirigé au nord-nord-ouest.—A Guyaquil un

violent courant sort du golfe avec une vîtesse de 40 milles par jour. Entre Panama et Acapulco, et à environ 180 milles de cette dernière ville, le capitaine Hall a rencontré un courant bien régulier se dirigeant vers l'est en tirant au sud avec une vîtesse qui varie entre 7 et 37 milles par jour. De grandes quantités de bois sont charriées du continent américain à l'île de Pâques, par un courant qui suit cette direction.—On a observé à Juan-Fernandez, et jusqu'à 300 lieues à l'ouest de cette île, des courans de 16 milles par jour, portant à l'ouest-sud-ouest. —Vers les îles Marquises les eaux ont une vîtesse de 26 milles par vingt-quatre heures. Entre les îles Marquises et les îles Sandwich, des courans vers l'ouest, parcourant 30 milles, règnent pendant les mois d'avril et mai. Vers la Californie, on a observé un fort courant portant au sud, et un autre se dirigeant au nord, le long de la côte nord-ouest de l'Amérique, à partir du cap Orford. La vîtesse de ce dernier est d'un mille et demi par heure.

Un courant dirigé vers le nord se fait sentir dans le détroit de Bhéring; on suppose qu'après un long trajet au nord de l'Amérique, il se jette à travers la baie de Baffin et le détroit d'Hudson dans l'Atlantique.

King a rencontré dans les parages des îles du Japon un courant de cinq milles à l'heure, portant au nord-est; mais il a remarqué en même temps qu'il variait considérablement en force et en direction.

Un courant venu du nord-est, circule avec violence entre les îles Philippines. On a trouvé que sa vîtesse, dans le voisinage de ces îles, était de 20 milles par jour; mais elle varie.

Cook a reconnu, dans le mois d'août, entre Botany-Bay et le 24e degré de latitude sud, un courant de 10 à 15 milles par jour, allant au sud. Sur cette même partie

des côtes de l'Australie, on cite un vaisseau qui fut emporté, dans le mois de mars, à 40 milles au sud en vingt-quatre heures. Dans le mois de juillet, un autre vaisseau fut entraîné dans la même direction à une distance de 30 milles en deux jours.

Dans la Méditerranée, on observe constamment un courant portant à l'est, avec une vîtesse d'environ 11 milles par jour. On avait pensé qu'il existait un contre-courant ou un courant sous-marin vers l'ouest, lequel versait dans l'Atlantique les eaux de la Méditerranée, rendues plus salées et par suite plus denses par l'évaporation; mais ce fait a été contesté dans ces derniers temps. Le docteur Wollaston a fait observer que le sel apporté dans la Méditerranée par le courant venu de l'Atlantique, devrait y rester après l'évaporation de l'eau qui le tenait en dissolution, s'il n'y avait quelque moyen de renouvellement des eaux. Il en a conclu que ce sel devait être emporté par le courant sous-marin dont on admet communément l'existence. Cette opinion lui a paru confirmée par l'expérience du capitaine Smith, qui, ayant puisé de l'eau à une profondeur de 670 brasses, et à 50 milles au-dedans du détroit, trouva qu'elle contenait quatre fois autant de sel que l'eau de mer ordinaire. Au contraire, l'eau prise à des profondeurs de 450 et 400 brasses, à une distance du détroit de 450 et 680 milles, ne présenta que la proportion de sel ordinaire. Le docteur Wollaston a fait observer en outre que si le courant inférieur avait la même profondeur et la même largeur que le courant supérieur, et seulement un quart de sa vîtesse, il suffirait pour reporter dans l'Océan tout le sel que ce dernier aurait introduit dans la Méditerranée.

Les eaux de l'Atlantique entrent dans la Méditerranée sous la forme d'un large courant dont la vîtesse est

accélérée par le rapprochement des côtes. Les eaux affluentes, introduites par le détroit de Gibraltar, suivent la lisière septentrionale, tournent entre l'île de Crête et les côtes de Syrie, et baignent ensuite les côtes d'Afrique, s'enfoncent dans les régions inférieures de la Méditerranée, d'où elles ressortent par-dessous, de sorte qu'entre la pointe méridionale de l'Espagne et l'extrêmité septentrionale de l'empire de Maroc, il existe un courant supérieur et un courant inférieur, comme cela paraît aussi avoir lieu dans le canal de Bahama.

Pendant long-temps on a ignoré l'existence d'un courant inférieur sortant de la Méditerrannée par le détroit de Gibraltrar, et de nouvelles observations semblent encore la contester. L'on croyait que l'évaporation qui a lieu à la surface de cette mer n'étant pas compensée par les fleuves qui viennent y affluer, il en résultait un courant accidentel de l'Océan pour rétablir l'équilibre; opinion que l'on peut encore admettre, car il se peut très-bien que le courant inférieur soit moins considérable que le supérieur.

La mer Noire présente un phénomène opposé. Il en sort continuellement un courant par le détroit des Dardanelles, et ce courant vient encore alimenter la Méditerranée. Là, on n'a pas reconnu de courant inférieur qui reportât l'eau de la Méditerranée dans la mer Noire, et comme celle-ci, quoique d'une petite étendue, est alimentée par cinq grands fleuves : le Danube, le Niester, le Bog, le Don et le Borysthène, il pourrait très-bien se faire que la quantité qu'ils apportent fût trop grande pour être enlevée par l'évaporation.

Un courant constant coule de la Baltique dans la mer du Nord par le Sund et le Cattegat. Sa vîtesse, dans

la partie la plus resserrée du Sund, est d'environ trois milles par heure, mais généralement elle n'est, par un beau temps, que de $1\frac{1}{2}$ ou 2 milles. Les courans, à leur sortie du Sund et des deux Belts, se dirigent vers la pointe de Skagen (Jutland), et de là tournent au nord-est vers Marstrand (Suède) avec une vîtesse de 2 milles par heure. Il n'est pas impossible qu'il existe un contre-courant ou courant sous-marin de l'Océan dans la Baltique, car le capitaine Patton étant à l'ancre, à quelques milles d'Elseneur, dans le courant supérieur qui avait une vîtesse de 4 milles à l'heure, observa, en sondant, par une profondeur de 14 brasses, que la ligne de la sonde, en la soulevant un peu au-dessus du fond, se maintenait perpendiculairement : d'où il conclut l'existence d'un courant sous-marin qui s'opposait à ce que la sonde fût entraînée dans le sens du courant supérieur.

Dans le golfe de Gascogne on observe, d'après M. Bory, un courant très-sensible qui court au nord-est; il reçoit, en suivant la côte de France, les eaux de la Garonne, de la Charente, de la Loire et de la Vilaine, et passant entre les îles et la côte de Bretagne, il va se perdre dans l'Océan.

2° *Courans périodiques.*

Les détails circonstanciés dans lesquels nous venons d'entrer sur la marche des courans, sont empruntés, en grande partie, au Manuel de M. de la Bèche, dont M. Brochant a donné une traduction française. Les Anglais ont recueilli, dans leurs nombreux voyages, des détails extrêmement importans sur tous les courans, et bien peu d'ouvrages français contiennent, sur cet

objet, autant de détails que celui qui va encore nous servir de guide pour les courans périodiques.

On nomme ainsi les courans dont la direction et la vîtesse, et presque toujours les deux, varient à des époques déterminées qui généralement ont pour cause les vents et les saisons.

Les mers des Indes et de la Chine contiennent un grand nombre de ces courans.

De la pointe Saint-Jean (à l'entrée du golfe Cambaye) au cap Comorin, règne dans la direction de la côte, du nord-nord-est au sud-sud-est, un courant presque constant, excepté depuis Cochin jusqu'au cap Comorin, points entre lesquels la direction du courant est du sud-est au nord-ouest, d'octobre à la fin de janvier.

Il y a un courant de l'Océan dans la mer Rouge depuis le mois d'octobre jusqu'en mai : c'est le contraire pendant le reste de l'année. Les eaux du golfe Persique présentent généralement aux mêmes époques le mouvement inverse, c'est-à-dire que les eaux de l'Océan, pendant tout le temps que les eaux de ce golfe se dirigent vers l'Océan, entrent dans la mer Rouge, celles-ci n'entrant dans le golfe que du mois de mai au mois d'octobre.

Dans le golfe de Manar, entre Ceylan et le cap Comorin, il y a un courant dirigé vers le nord, de mai en octobre; il passe au sud-ouest et sud-sud-ouest pendant les six autres mois. Le long de la côte de Ceylan, de la pointe de Pedro au nord de l'île, à la pointe de Galle, au sud, règne un courant qui porte au sud-est, sud-sud-est, sud, sud-ouest et ouest, selon la configuration de la côte; il s'arrête à la pointe de Galle au courant qui vient du golfe de Manar. Sa vîtesse ordinaire à la côte sud de Ceylan est d'environ une lieue par heure. Ces

courans n'ont que très-peu de force dans les mois de juin et de novembre. Dans la baie du Bengale, les moussons du sud-ouest ou de l'ouest donnent lieu, pendant toute leur durée, à des courans nord-est et est, qui cessent en septembre. Sur la côte d'Orissa, environ huit jours avant l'équinoxe, leur direction est nord et sud, et ils deviennent violens vers la fin du mois. Pendant les moussons nord-est et est, ces courans prennent également la direction des vents régnans dont la force règle leur vîtesse.

Pendant les moussons sud-ouest, entre la côte du Malabar et les îles Laquedives, le courant porte au sud-sud-est avec une vîtesse de 20, 24 ou 26 milles par jour. Entre les îles Laquedives, il se dirige au sud-sud-ouest et sud-ouest, en parcourant 18 à 22 milles par jour. Après avoir dépassé ces îles, il court à l'ouest ou sud-sud-ouest en faisant de 8 à 11 milles par vingt-quatre heures. Les îles Maldives sont traversées par un courant assez violent. Entre les plus méridionales, sa direction est généralement vers l'est-nord-est, en mars et avril; ils passent à l'est en mai; et, dans les mois de juin et juillet, ils tournent souvent à l'ouest-nord-est, particulièrement au sud de l'équateur. Entre ces îles et celle de Ceylan, ils courent fréquemment avec violence à l'ouest pendant les mois d'octobre, novembre et décembre.

Dans les mers de Chine, à une certaine distance des côtes, les courans se dirigent le plus généralement vers le nord-est, depuis le 15 mai jusqu'au 15 août, et ont une direction contraire du 15 octobre au mois de mars ou d'avril. La vîtesse des courans du nord-est au sud-ouest qui règnent le long des côtes pendant les mois d'octobre, novembre et décembre, est ordinairement plus grande que celle des courans contraires en mai,

juin et juillet. C'est entre les îles et les bas-fonds qui bordent la côte qu'ils se meuvent avec le plus de force.

Les plus forts courans que présentent ces mers sont ceux qui règnent pendant la fin de novembre le long des côtes de Camboge ; ils courent au sud avec une vîtesse de 50 à 70 milles par jour , entre Avarella et Poolo Cecir da Terra. Une partie du courant s'engage dans le détroit de Malacca, d'où il résulte que la marée court d'un côté pendant neuf heures, et de l'autre pendant trois heures seulement. Les courans dirigés vers le nord ne commencent qu'en avril : après avoir franchi les détroits de Banca et de Malacca, ils longent la côte occidentale du golfe de Siam, tournant à l'est-sud-est pour suivre la côte nord-est du golfe, jusqu'à l'est de la pointe Ooby. Là, ils passent au nord-est pour suivre les côtes du royaume de Camboge, de la Cochinchine, de la Chine, jusqu'en septembre, époque à laquelle les moussons contraires, et par suite les courans du nord-est au sud-ouest règnent à leur tour jusqu'en mars ou avril.

Des courans périodiques se font sentir , suivant M. Lartigue le long de la côte occidentale de l'Amérique du sud, depuis le cap Horn jusqu'au 19e degré de latitude sud. Les vents du sud et de l'est-sud-est produisent, sur les côtes du Pérou , un courant du sud-est au nord-ouest, dont la vîtesse, qui s'élève quelquefois jusqu'à 15 milles par jour, est moyennement de 9 à 10 milles. Entre ce courant et le rivage est un contre-courant qui coule vers le sud-est.

Pendant que les vents compris entre le nord et l'ouest sont dominans, le courant se dirige vers le sud-est, mais il n'est sensible que près de la terre.

3° *Courans temporaires* ou *variables.*

Ces courans sont très-communs sur toutes les mers, et particulièrement le long des côtes; ils sont produits par l'action prolongée des vents irréguliers qui, en soufflant plusieurs jours de suite, dans la même direction, produisent un courant dont la vîtesse n'est jamais bien grande et la dont durée est toujours assez courte. On conçoit qu'ils se forment dans toutes les directions, et qu'il est aussi impossible de prévoir leur formation que de les décrire.

4° *Courans accidentels.*

On pourrait à la rigueur réunir cette sorte de courans aux précédens, mais ils en diffèrent, en ce qu'ils sont produits par des causes extraordinaires, indépendantes des vents, et tout à fait différentes de celles qui donnent naissance aux courans constans. Nous n'en citerons que deux exemples.

Le premier, rapporté par Saussure, a évidemment pour cause l'affluence des eaux froides. Lorsqu'il voulut descendre son thermomètre dans la mer, près de la côte de Gênes, pour en mesurer la température, les pêcheurs l'en détournèrent.

« Ils nous assurèrent unanimement, dit-il, qu'après des pluies aussi abondantes que celles qui venaient de tomber, les courans portent au couchant avec une telle violence, que, dans l'espace de trois heures, les pêcheurs perdent leurs hameçons; et qu'ainsi, comme nous étions obligés de laisser nos thermomètres dans la mer au moins douze heures, il était à peu près certain que nous ne pourrions point les retrouver. »

Le second a été observé plusieurs fois sur la côte nord du Chili et tout le long de celle du Pérou.

Meyen rapporte, dans son voyage autour du monde, qu'il s'est trouvé, pendant la nuit et par le calme le plus complet, à l'ancre dans le port de Copiapo, lorsque, par une brusque transition et sans coup de vent, d'énormes vagues sont venues soulever le vaisseau où il était, et lui imprimer des secousses si violentes que le mouvement en était insoutenable. Dans d'autres parages, au sud même d'Itrica, par un temps doux et serein, la brise étant à peine sensible, il a vu arriver de la haute mer des vagues de 30 à 40 pieds d'élévation; cependant, sur la côte occidentale de l'Amérique du sud, le flux et le reflux sont à peu près imperceptibles; ce n'est donc pas au retour périodique de la marée qu'il faut attribuer ce phénomène. On a cru pouvoir l'expliquer par l'influence de la pleine-lune; mais M. Meyen oppose à cette théorie que ce roulement, comme on l'appelle, se manifeste sur quelques points de la côte avec bien plus de violence pendant le dernier quartier de la lune, d'où il conclut que cet astre n'en est pas la cause. On pourrait, dit-il, l'attribuer peut-être à une surabondance extraordinaire d'eaux froides qui affluent du sud-ouest et viennent tomber à la côte péruvienne, dans toute la largeur de l'Arequipa (1). Peut-être aussi est-il dû à de violens dégagemens de gaz qui, dans ces contrées où les tremblemens de terre sont si fréquens, soulèvent les flots et occasionnent ces grandes fluctuations.

---

(1) *Mémorial encyclopédique*, octobre 1835, et *Institut* du 25 novembre 1835.

DE LA CAUSE DES COURANS.

Il est certes bien singulier de voir des cours d'eau sillonner l'étendue des mers, comme nous en voyons marcher à la surface des continens, par la seule pente du terrain. Ici, rien de plus naturel que de voir un fleuve se diriger vers les points les plus bas avec une rapidité qui est toujours en rapport avec les sinuosités de son lit; mais au milieu de l'Océan, pourquoi certaines zônes d'eau salée se meuvent-elles dans des directions déterminées et, si elles changent, pourquoi n'éprouvent-elles ces changemens qu'à des époques réglées et périodiques ?

On n'a pas manqué de proposer pour ce sujet une longue série de théories dont les applications ont toujours été très-difficiles et en général fort peu satisfaisantes.

Il est une chose dont il faut bien se pénétrer dans l'étude des sciences naturelles, c'est que la nature a toujours à sa disposition des moyens très-variés pour arriver à un même résultat, et il est bien rare que l'explication très-rationnelle d'un fait puisse s'appliquer aussi à tous les autres faits du même genre. C'est ce qui a lieu pour les courans, dont les causes sont probablement très-variées.

« En y réfléchissant, dit M. de Humboldt, on reconnaît qu'elles sont beaucoup plus multipliées qu'on » ne le croit généralement, car les eaux de la mer » peuvent être mises en mouvement, soit par une impulsion extérieure, soit par une différence de chaleur et de salure, soit par la fonte périodique des » glaces polaires, soit enfin par l'inégalité de l'évaporation qui a lieu à diverses latitudes. Tantôt plu-

» sieurs de ces causes concourent au même effet, tan-
» tôt elles produisent des effets opposés (1). »

Parmi les causes extérieures, les principales sont les vents; et l'on ne peut nier en effet qu'ils n'aient une puissance active à la surface des mers. Les vents accidentels et variables, lors même qu'ils sont assez violens pour qu'on puisse leur donner le titre de tempêtes, ne produisent jamais que des courans temporaires et circonscrits. Mais les vents constans ou périodiques communiquent à l'eau qu'ils touchent leur caractère de continuité ou leur alternance. Aussi, c'est en grande partie à l'action des moussons qu'il faut attribuer les courans périodiques si communs dans les mers des Indes et de la Chine.

Peut-être faut-il aussi placer comme force extérieure déterminant certains courans, l'impulsion des fleuves qui viennent se rendre à l'Océan. M. Bory de Saint-Vincent considère même cette cause comme celle qui détermine la vîtesse et l'existence de ces grands cours d'eau. Il pense qu'en débouchant dans la mer, le courant des fleuves y continue à travers la masse d'eau qui repose sur un fond anfractueux et qu'il doit nécessairement suivre encore, en s'y écoulant, les anfractuosités du sol sous-marin, tout en ralentissant sa progression.

La réunion de ces courans divers et l'opposition invincible que leur présente bientôt le poids de la masse totale des eaux qu'ils viennent grossir, doit produire un courant général, vaste fleuve marin, à peu près parallèle aux côtes, proportionné, en étendue et en ra-

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinox.*, t. I, p. 144.

pidité, aux tributs qu'il reçoit des continens, et dont les rivages sont, d'un côté ceux des continens mêmes, et de l'autre la masse centrale des flots.

Il paraît plus probable cependant que l'évaporation qui se fait d'une manière si inégale sous les différentes zônes du globe, la fonte des glaces polaires et le mouvement de rotation de la terre, sont les principales causes qui, seules ou réunies, donnent naissance aux courans.

On ne peut nier que l'évaporation ne soit beaucoup plus forte sous la zône torride que sur les autres parties de la terre, et dès-lors l'eau doit arriver du nord et du sud pour remplacer celle qui se combine avec la chaleur et s'élève en vapeur.

D'un autre côté, les glaces polaires qui forment aux deux extrêmités de l'axe du globe des masses considérables d'eau solide, sont soumises successivement à l'action du soleil qui les fond au lieu de les réduire en vapeur; il en résulte d'immenses courans d'eau froide qui, par leur température, devraient gagner les parties basses des mers, mais qui étant fort peu salées, doivent pénétrer plus ou moins obliquement dans des eaux que le sel rend plus denses et que la chaleur rend plus légères, en sorte que, sous ce rapport, il peut s'établir une sorte de compensation.

Il n'en résulte pas moins deux courans qui vont des pôles à l'équateur, et qui, sans les déviations partielles, viendraient se réunir sous la ligne, après avoir perdu une partie de leur vîtesse. Mais il faut bien remarquer que ces deux grands courans polaires n'ont pas lieu à la fois; pendant que nous sommes en été, le pôle nord, continuellement exposé aux rayons obliques du soleil, laisse fondre une partie de ses glaces, et le courant s'établit; et pendant la même saison, le pôle sud,

plongé dans l'obscurité, se charge au contraire de neiges et de glaçons qui doivent fondre à leur tour. Les deux courans polaires ne peuvent donc pas être constans, et l'on prévoit déjà une partie des causes de la périodicité des courans.

Si pendant que les glaces fondent à un pôle ou à l'autre, l'évaporation enlève sans cesse de nouvelles quantités d'eau à l'équateur, il y aura nécessairement double motif pour qu'il y ait toujours un courant des pôles à l'équateur, seulement ce courant sera plus fort au nord ou au sud, selon les saisons. Il faudra nécessairement tenir compte, dans ces variations, du temps nécessaire pour que l'eau arrive des pôles, sous tel degré de latitude, et des obstacles qui peuvent ralentir sa course et la dévier de son cours. Sans ces obstacles il y aurait donc deux courans qui iraient en ligne droite du nord au sud et du sud au nord, d'une manière assez régulière, et c'est pourtant ce qu'on n'observe pas.

Lorsqu'on approche des latitudes élevées, on remarque bien ces courans polaires qui charient d'énormes glaçons dans une direction exactement opposée au pôle dont ils partent, et ils sont d'autant plus sensibles que c'est ordinairement en été seulement que l'on peut pénétrer dans ces froides régions; on y arrive alors à l'époque des plus forts courans. Ce furent ces courans qui empêchèrent le capitaine Parry et son équipage d'atteindre le pôle; car, tandis qu'ils se traînaient péniblement sur les glaces, celles-ci, emportées dans une direction contraire, les éloignaient, sans qu'ils s'en aperçussent, du point qu'ils désiraient atteindre.

Lorsqu'on approche de l'équateur, cette direction du nord au sud et du sud au nord, selon les hémisphères et la saison, n'est plus celle qui domine. Il y a une

tendance générale qui porte à l'occident, et la mer semble fuir les rivages qui sont à l'est. Cette tendance est celle des vents alisés, et le grand courant marin que l'on désigne sous le nom de courant équatorial, est lié aussi à la rotation de la terre. Voici comment Maltebrun explique l'action puissante et la direction de ce courant.

« L'action du soleil et la rotation terrestre diminuent constamment la pesanteur des eaux équatoriales, et l'évaporation en fait disparaître une quantité infiniment plus grande que ne peuvent lui rendre les fleuves. Les eaux des mers plus éloignées de l'équateur sont donc sollicitées de remplir ce vide, et de là proviennent les deux courans polaires. Maintenant les eaux qui viennent des zônes plus froides (surtout dans le grand Océan où le passage d'un climat à l'autre est plus rapide), ces eaux ont une pesanteur considérablement plus grande que celles qu'elles viennent remplacer. D'un autre côté, et c'est là l'essentiel, elles sont animées d'un mouvement de rotation infiniment plus lent que ne l'est la partie d'eau qui se trouve habituellement dans la zône torride; or, ces eaux, par leur force d'inertie, ne se dépouillent jamais tout d'un coup du degré de mouvement qu'elles ont une fois acquis. Donc elles ne peuvent pas suivre la rotation du globe; lourdes et immobiles, elles sont tout à coup tombées dans la sphère de la plus rapide mobilité; elles conservent, pour quelques instans, leur caractère primitif. Mais la partie solide du globe est toujours mue vers l'orient avec la même rapidité dont elle fuit réellement ces eaux, qui, en restant toujours un peu en arrière, semblent se mouvoir vers l'occident et ainsi s'éloigner des rives orientales des continens, tandis que sur les rives occidentales la terre s'avance vers les

eaux ; et celles-ci, ne se conformant pas avec assez de rapidité au mouvement de rotation, semblent s'avancer vers la terre. Ainsi ce grand et merveilleux mouvement n'est qu'une vaste et paisible oscillation qui ne dépend que de l'équilibre seulement de l'Océan ; mais lorsqu'une oscillation si puissante trouve dans son chemin des passages étroits, des obstacles qui la gênent, la détournent sans l'arrêter, elle se change en courant violent et souvent dangereux (1). »

Voilà les principales causes du mouvement des eaux. On voit que ce sont presque les mêmes qui déterminent les courans d'air ou vents réguliers ; mais il y a une bien grande différence entre la surface plane des mers sur laquelle reposent les vents alisés et les moussons, et le fond raboteux de l'Océan.

Des continens tout entiers s'opposent, en différens points, à la marche régulière des grands courans ; puis tout d'un coup ils cessent, et le courant, qui ne trouve plus d'obstacle, s'épanche et s'éteint quelquefois tout à fait. Une foule d'îles, formant parfois des archipels nombreux, changent aussi à chaque instant la direction imprimée aux eaux. Souvent toutes les causes qui en altèrent la marche sont sous-marines ; et quoiqu'il n'y ait aucune terre visible, le changement de direction d'un courant indique qu'il existe au fond de la mer des masses saillantes mais cachées par les flots. Ailleurs, des détroits, diminuant la largeur du fleuve marin, accélèrent sa vîtesse, ou le dirigent dans un sens différent. Presque tous les détroits présentent ce phénomène, et il est très-sensible dans les hautes lati-

---

(1) MALTEBRUN, *Géographie universelle*, t. II, p. 276.

tudes, où les courans polaires conservent encore toute leur intensité.

Si l'on ajoute à toutes ces causes l'action des vents et celle des fleuves que nous avons déjà étudiée, on trouvera moyen d'expliquer la direction et la plupart des caractères que présente la majeure partie des courans dont nous avons parlé dans la première partie de ce paragraphe. Cette appréciation serait cependant encore assez difficile pour plusieurs d'entre eux qui sont loin d'être suffisamment connus, ou qui du moins n'ont pas été explorés dans toutes les saisons.

On peut expliquer aussi facilement les contre-courans, qui sont des courans marchant en sens contraire. Leur position, relativement aux véritables courans, établit entre eux quelques différences que nous allons examiner.

1° Ils peuvent marcher l'un à côté de l'autre;

2° Ils peuvent passer l'un sur l'autre;

3° Ils peuvent arriver l'un contre l'autre.

Premier cas. — On sait que les vents, en venant frapper une chaîne de montagnes, peuvent être réfléchis sous des angles très-différens, selon la forme et la situation de l'obstacle et selon sa vîtesse ou sa force d'impulsion. Des phénomènes semblables se présentent au fond de la mer, et l'on peut concevoir aisément une série d'obstacles (*îles*, *écueils*, *inégalités sous-marines*) disposés de telle manière que le courant réfléchi passe à côté de la portion qui doit l'être bientôt, et nous avons cité plusieurs exemples de ces contre-courans. On conçoit encore que des différences dans la température des eaux, ou dans leur salure, établissent des inégalités de pesanteur assez grandes pour former un courant; l'arrivée d'un grand fleuve, enfin toutes les causes qui ont

pu produire le premier courant, peuvent donner naissance à un second, qui, arrivant sous un angle aigu sur le premier, le longe pendant un trajet plus ou moins long, et se meut dans une direction opposée. Plus souvent, il est vrai, le second courant suit la même direction que le premier, et leurs eaux confondues suivent l'impulsion et prennent la direction communes.

Second cas. — Pour choisir encore un point de comparaison dans les courans d'air, nous rappellerons qu'il n'est pas rare, pendant l'été, de voir deux couches de nuages superposées marcher dans un sens tout-à-fait différent ; c'est aussi ce que l'on voit, mais plus rarement, dans la mer. Il est vrai que cette marche contraire est rarement constante, parce qu'elle tient souvent à l'action du vent qui souffle dans une direction opposée à un courant, et assez violemment pour arrêter l'eau à sa surface et ensuite la faire rétrograder. Il y a cependant de tels courans qui semblent continus.

Maltebrun rapporte, d'après des observations puisées dans les transactions philosophiques, que dans les parages des Antilles, il y a des endroits où un bâtiment peut s'amarrer au milieu d'un courant, en laissant tomber à une certaine profondeur connue, un cable auquel est attaché une sonde de plomb. Il doit, sans doute, y avoir à cette profondeur un courant contraire à celui qui règne à la superficie des eaux ; le repos vient de l'égalité de ces deux forces qui entraînent, l'une le bâtiment, l'autre le cable avec la sonde.

Dans la mer du Nord, il y a un courant nord qui vient du pas de Calais, et un courant sud qui va depuis les îles Orcades le long des côtes britanniques.

Le navigateur Deslandes en cite aussi un exemple remarquable dans une lettre écrite à Buffon, en 1773. Il était sur la côte d'Afrique, dans le golfe de Guinée,

et il voulait aller à Laongo, à quelques degrés plus au sud; mais un fort courant qui venait du midi lui fermait le passage.

Etant mouillé par huit brasses d'eau, il s'aperçut qu'il existait un courant inférieur contraire à celui de la surface. Pour s'en assurer, il attacha une serviette à la corde d'une ligne, un peu au-dessus du plomb. Dès que la serviette toucha l'eau, elle prit la direction du courant supérieur. A trois brasses de profondeur, elle flottait indifféremment autour de la ligne, mais de là jusqu'au fond elle prenait une direction contraire à la première.

Deslandes réitéra l'expérience à quelques lieues de la côte, où la mer avait environ cinquante brasses de profondeur; là le courant supérieur se faisait sentir jusqu'à la profondeur de douze à quinze brasses.

Pendant deux mois et demi que Deslandes fut dans dans cette situation, ces effets eurent lieu à divers intervalles, qui équivalaient à un mois; dans les autres temps, toute la masse du courant se portait en entier dans le golfe de Guinée.

Ce navigateur se servit ingénieusement de ce contre-courant pour avancer contre le courant supérieur; il imagina une machine qui présentait beaucoup de surface, et qui étant descendue jusqu'au courant inférieur, était entraînée assez fortement pour remorquer le navire, et lui faire faire environ une demi-lieue par heure (1).

Parmi les doubles courans superposés, un des plus célèbres est celui du détroit de Gibraltar. On sait, à ne pas en douter, qu'un courant marchant avec une vîtesse

(1) *Dictionnaire de* DETERVILLE, 1re édition, article Courant.

de 11 milles par jour, entre par ce détroit et amène continuellement des eaux à la Méditerranée, qui du reste en reçoit aussi de la mer Noire. On explique facilement ces courans, en supposant avec beaucoup de vraisemblance que l'évaporation qui a lieu sur ce bassin enlève beaucoup plus d'eau que les fleuves ne peuvent en fournir. L'inverse a lieu pour la mer Noire, et elle verse son excédant dans la Méditerranée.

L'existence du contre-courant est plutôt supposée que prouvée. On pense qu'après avoir été soumise à l'évaporation, l'eau, devenue plus salée, doit retourner dans l'Océan ; et comme il n'y a qu'une issue, et que la partie supérieure est occupée par un courant, on a admis, par un raisonnement très-rationnel, la présence sous-marine du contre-courant.

M. Lyell ne pense pas que l'on puisse adopter cette idée, et il n'admet pas son existence.

Troisième cas. — Il est bien rare que deux courans, arrivant en sens contraire, viennent précisément se heurter. Cependant on en a des exemples, et ils sont presque toujours situés à peu de distance de passages étroits. Ils commencent dès leur contact à décrire une courbe qui devient assez souvent une spirale dont les spires se multiplient jusqu'à ce que les deux courans soient réunis ou que l'un des deux se soit échappé. Ces points de contact sont très-redoutés des navigateurs, surtout lorsque de hautes marées viennent ajouter encore à leur puissance, et ils ont causé plus d'un naufrage. C'est à cette cause qu'il faut rapporter les *Tornados*; le fameux *Charybde*, dans le détroit de Sicile; l'*Euripe*, près de l'île d'Eubée ; le *Malstrœm*, dans la Norwège septentrionale.

CHAPITRE DIXIÈME.

DE LA PROFONDEUR DES MERS, DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA NATURE DE LEURS EAUX.

Il est bien difficile de connaître la configuration du fond des mers; mais on doit supposer, avec assez de vraisemblance, que ce fond ressemble à la surface de nos continens. Il doit y avoir des vallées et de vastes plaines dont les sommets, en s'élevant au-dessus des flots, viennent y former des îles plus ou moins étendues, ainsi que de hautes montagnes. Cependant cette surface doit différer de celle des continens, car les dépôts des fleuves et les dépouilles des animaux marins, entraînés par les courans, doivent à la longue niveler les plaines et combler les vallées; par conséquent, les plus grandes profondeurs de la mer doivent être moins considérables que les plus hautes montagnes de la terre.

De Laplace a calculé que la profondeur moyenne de l'Océan n'était qu'une petite fraction de la différence produite par l'aplatissement des pôles entre les deux diamètres de la terre. On a estimé fort contradictoirement cette profondeur à 3,000 et jusqu'à 5,000 mètres. La hauteur moyenne des continens au-dessus des eaux est un peu plus de 3,200 mètres. On peut voir d'après cela que la profondeur moyenne de la mer peut à peine atteindre ce chiffre, et elle doit nécessairement être

beaucoup moindre; or, comme les eaux occupent les trois quarts du globe, les continens actuels pourraient être distribués dans le sein de l'Océan, de telle manière que la surface du globe ne présentât plus qu'une seule masse d'eau; possibilité fort importante, dit M. de Labèche, car elle permet de concevoir à volonté toutes les combinaisons imaginables dans la distribution superficielle des continens et des eaux, et par conséquent de nombreuses variétés dans la vie organique, chacune d'elles appropriée aux diverses situations et aux divers climats dans lesquels elle serait placée.

Buffon arrivait par un autre calcul à une profondeur bien moins grande. Il avait calculé que les fleuves portent à la mer, en 812 ans, une quantité d'eau égale à l'Océan; en sorte que si l'eau qui s'évapore n'y retournait pas, ce dernier serait à sec après ce laps de temps. Il considère l'évaporation diurne comme égale à deux tiers de ligne, ou 21 pouces par an, ou 1421 pieds dans les 812 ans. D'après ce calcul, l'Océan n'aurait qu'une profondeur moyenne de 237 toises. Malheureusement les sondages qui ont été faits ne peuvent résoudre cette curieuse question. Malgré leur grand nombre, beaucoup d'entre eux n'ont présenté que des résultats négatifs, et la sonde n'a pas toujours atteint le fond, quoique, dans certains cas, on lui ait donné d'énormes dimensions.

Le docteur Yung croit que la profondeur moyenne de l'Océan atlantique est de une lieue environ, et celle de l'Océan pacifique de une lieue un tiers; mais jusqu'à présent la sonde n'a pu atteindre qu'à une profondeur de deux tiers de lieue.

De toutes les mers, celles de l'Europe sont peut-être les moins profondes. La plus grande profondeur de l'Adriatique, entre la Dalmatie et les bouches du Pô,

est de 132 pieds. Considéré sous ce rapport, le bassin de la Méditerranée est très-inégal. Entre Gibraltar et Centa, le capitaine Smith a reconnu que sa profondeur est de 5,700 pieds. Saussure dit qu'il est, à Nice, de 2,000 pieds. Dans les parties les plus rétrécies du détroit de Gibraltar, la profondeur varie de 960 à 3,000 pieds. Dans les mers australes, M. Scoresby a descendu la sonde par le 76° latitude nord, 4° longitude ouest, à une profondeur de 7,600 pieds, sans rencontrer le fond. Le capitaine Parry, dans les mêmes parages, a interrogé en vain ce prodigieux abîme, sans donner toutefois la même latitude à la sonde; l'expérience de M. Scoresby demeure donc la plus remarquable qui ait encore été faite dans ce genre.

Ces divers sondages, exécutés dans les régions polaires, prouvent que la mer y est extrêmement profonde, et il paraît qu'aucune île ne sert d'appui aux glaces polaires. Lorsqu'on approche des rivages, l'eau devient de moins en moins profonde, et la plage descend souvent très-lentement dans la mer; mais si des falaises escarpées bordent les côtes, il règne de suite à leur pied une profondeur considérable, et la même chose a lieu pour les lacs.

Les courans semblent aussi avoir une assez grande influence sur la profondeur des mers, à moins qu'ils ne soient tout-à-fait superficiels; dans le cas contraire, ils agissent comme des fleuves qui creusent leur lit sur des pentes plus ou moins rapides.

DE LA TEMPÉRATURE DES MERS.

Bien des mystères sont ensevelis au fond des mers; mais l'esprit inquiet de l'homme n'y a pas laissé celui de la température de ces profonds abîmes. Malgré l'agi-

tation des flots, qui peut se communiquer à de grandes profondeurs, partout où la sonde a pu pénétrer, elle a été armée d'un thermomètre, et a ramené à la surface la température des lieux où elle avait séjourné.

L'atmosphère, s'appuyant sur la mer et étant douée d'une température qui varie selon la latitude et les saisons, doit nécessairement avoir une grande influence sur la température de la surface de la mer, et c'est en effet ce qui arrive.

Perron, qui s'est occupé beaucoup de cet objet, est arrivé aux conclusions suivantes, qui paraissent dignes de toute confiance :

1° La température de l'Océan est généralement plus froide à midi que celle de l'atmosphère observée à l'ombre.

2° Elle est constamment plus forte à minuit.

3° Le matin et le soir les deux températures sont ordinairement en équilibre.

4° Le terme moyen d'un nombre donné d'observations comparatives entre la température de la surface des flots et celle de l'atmosphère, répétées quatre fois par jour, à six heures du matin, à midi, à six heures du soir et à minuit, et dans les mêmes parages, est constamment plus fort pour les eaux de la mer, par quelque latitude que les observations soient faites.

5° Le terme moyen de la température des eaux de la mer, à la surface et loin des continens, est donc plus fort que celui de l'atmosphère avec laquelle les eaux sont en contact.

Il est naturel qu'une grande masse d'eau ne puisse suivre avec précision les changemens de température qui surviennent dans l'atmosphère; aussi le *maximum* des températures moyennes de chaque mois ne correspond pas non plus, à la même époque, dans l'Océan

et dans l'air. L'accroissement de chaleur des mers éprouve nécessairement un retard, et comme la température de l'air commence à diminuer avant que l'eau ait atteint son *maximum*, il en résulte que l'étendue des variations atmosphériques est plus petite à la surface de la mer que dans l'atmosphère. Nous sommes encore bien éloignés de connaître les lois de ces phénomènes, qui ont une grande influence dans l'économie de la nature.

M. de Humboldt pense que la température de la surface de la mer ne peut, dans aucun lieu en pleine mer, atteindre + 30° centigrades. C'est du moins ce qui résulte de ses propres expériences, de celles du capitaine Baudin, dans la mer des Indes et dans l'Océan Atlantique; de celles de Basil Hall, dans la mer de Chine; de celles de John Davy, dans celle de Ceylan; de celle de W. Bayley, de Churruca, de Quevedo, dans l'Océan atlantique, et d'un grand nombre d'autres.

M. de Humboldt a fait aussi l'observation importante que l'eau qui recouvre un banc de sable est toujours plus froide qu'en pleine mer; ainsi, en traversant de la Corogne au Férol, le thermomètre centigrade marquait, près d'un banc, +12° 5 et 13° 3, tandis qu'il se trouvait à 15° ou 16° 3 partout ailleurs où la mer était très-profonde: la température atmosphérique était alors de 12° 8. La différence est d'autant plus grande que le banc est moins abaissé au-dessous de la surface des eaux. Plus un banc de sable est étendu, plus l'eau qui le recouvre est froide; il ne faut en excepter que les hauts-fonds compris entre des caps rapprochés ou situés dans des courans réguliers.

L'abaissement de température est très-sensible à l'approche des terres. Ce phénomène remarquable a été

attribué, par H. Davy, au rayonnement et à l'évaporation.

La température des courans est souvent supérieure à celle de la mer qui les environne.

M. de Humboldt a observé, par 40° et 41° de latitude, les eaux du golfe méxicain qui sont entraînées au nord-est avec une grande force, conservant, sous cette latitude, leur température de 22° 5, tandis que hors du courant la chaleur de l'Océan, à sa surface, était à peine de 17° 5. Sous le parallèle de New-York et d'Oporto, la température du Gulf-Stream égale par conséquent celle que les mers du tropique nous offrent par les 18° de latitude, c'est-à-dire sous le parallèle de Porto-Rico et des îles du Cap-Vert. A l'est du port de Boston, et sur le méridien de Halifax, sous les 41° 25' de latitude et les 67° de longitude, le courant atteint près de 80 lieues marines de largeur; c'est là qu'il se dirige tout d'un coup à l'est, de manière que son bord occidental, en se recourbant, devient la limite boréale des eaux courantes, et qu'il rase l'extrêmité du grand banc de Terre-Neuve, que M. de Volney appelle très-ingénieusement la barre de l'embouchure de cet énorme fleuve marin. Les eaux froides de ce banc qui, selon les expériences de M. de Humboldt, ont une température de 8° 7 à 10° (7° ou 8° R.), offrent un contraste frappant avec les eaux de la zône torride, poussées au nord par le Gulf-Stream, dont la température est de 21° à 22° 5 (17° à 18° R.). Dans ces parages, le calorique se trouve réparti dans l'Océan d'une manière étrange : les eaux du banc sont de 9° 4 plus froides que la mer voisine, et cette mer est de 3° plus froide que le courant. Ces zônes ne peuvent se mettre en équilibre de température, parce que chacune d'elles a une source de chaleur

ou une cause de refroidissement qui lui est propre, et dont l'influence est permanente.

Depuis le banc de Terre-Neuve, ou depuis les 52 dégrés de longitude jusqu'aux îles Açores, le Gulf-Stream continue à se porter vers l'est et l'est-sud-est; les eaux y conservent encore une partie de l'impulsion qu'elles ont reçue près de mille lieues plus loin, dans le détroit de la Floride, entre l'île de Cuba et le bas-fond de la Tortue. Cette distance est le double de la longueur de la rivière des Amazones, depuis Jaën ou le détroit de Manseriche au Grand-Para. Sur le méridien des îles de Corvo et de Flores, les plus occidentales du groupe des Açores, le courant occupe une étendue de mer de 160 lieues de large (1).

La température de la mer a été prise aussi à différentes profondeurs, et l'on a obtenu des résultats très-différens, comme on peut s'en convaincre par l'examen des faits suivans que j'emprunte à M. de Labèche (2):

Le capitaine Kotzebue, à la latitude de 36° 9′ nord, et à la longitude de 148° ouest, a trouvé que l'eau de la surface avait une température de 22°,16, celle de l'air étant à 22°,77; — à 25 br., l'eau n'était plus qu'à 13°,94; — à 100 br., 11°,55; — et à 30 br., 6°,66: ce qui montre un décroissement graduel de température vers le terme de 3°,88 à 4°,44 centig., ou 39° à 40° Fahrenheit.

A la latitude de 23° 3′ nord, et longitude 181° 56′ ouest, le capitaine Krusenstern a obtenu à la surface, 25°,55; — à 25 br., 23°,88; — à 50, 21°,33; — et 16°,38 à 125 brasses.

Dans les latitudes au sud des tropiques, le capitaine Kotzebue a observé une température de 9°,72 à 35 br.,

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 129.
(2) *Manuel de Géologie*, p. 27.

la surface de l'eau étant à 19°,44, et l'air à 20°; à la latitude de 30° 39′ sud, le même navigateur a trouvé que la température, à 196 brasses, était à 3°,77, à la latitude de 44° 17′ sud, et longitude 57° 31′ ouest, l'eau de la surface étant à 12°,72, et l'air à 14°,22.

Les résultats suivans font partie de ceux qu'a obtenus le capitaine Beechey, sur les températures, à différentes profondeurs et dans différentes localités. A la latitude de 47° 18′ sud, et longitude 53° 30′ ouest, la surface de l'eau étant à 9°,88, il a trouvé 7°,05 à 270 brasses, 4° à 603 brasses, 4°,50 à 733 brasses, et 4°,11 à 854 brasses; à la latittude de 55° 58′ sud, longitude 72° 10′ ouest, l'eau de la surface étant à 6°,38, il obtint 5°,83 à 100 brasses, 5°,83 à 230 brasses, 5°,83 à 330 brasses, et 5°,33 à 430 brasses.

Dans la mer Pacifique, il trouva, à la latitude de 28° 40′ sud, longitude 96° ouest, 21°,66 de température à 100 brasses, 11°,66 à 200, 9°,44 à 300, et 7°,22 à 400, l'eau de la surface étant à 23°,33.

Parmi les observations qu'a faites le même navigateur dans la partie nord de la mer Pacifique, je citerai les suivantes. A la latitude de 61° 10′ nord, longitude 183° 28′ ouest, en juillet 1827, il trouva, à 5 brasses 5°,27, à 10 brasses 3°,33, à 20 brasses—1°,39 et aussi —0°,83 à la même profondeur, probablement par une seconde observation; à 30 brasses—0°,83; à 52 brasses +0°,27; à 100 brasses+0°,27, et à 200 brasses encore+0°,27, l'eau de la surface étant à 6°,38, et l'air à 7°,22.

Plusieurs observations sur la température de la mer ont été faites à des profondeurs considérables sous les tropiques. Le capitaine Sabine a trouvé à la latitude de 20° 30′ nord, longitude 83° 30′ ouest une température de 7°,50 à 1000 brasses, l'eau à la surface étant à 28°,33. Le capitaine Wauchope a obtenu, à la latitude

de 10° nord, longitude 25° ouest, une température de 10°,55 à 966 brasses, l'eau à la surface étant à 26°,66; et le même observateur a aussi trouvé, à la latitude de 3° 20′ sud, longitude 7° 39′ est, une température de 5°,55 à 1300 brasses, l'eau de la surface étant à 22°,77. D'autres observations, faites dans les mers entre les tropiques, à de moindres profondeurs, montrent le même décroissement de température en allant de la surface dans la profondeur; ainsi le capitaine Kotzebue, à la latitude de 9° 21′ nord, a obtenu 25° à 250 brasses, l'eau de la surface étant à 28°,33, et l'air à 28°,88. Sous l'équateur, à la longitude de 177° 5′ ouest, il a trouvé une température de 12°,77 à une profondeur de 300 brasses, l'eau de la surface étant à 28°,05, et l'air à 28°,33.

Toutes ces observations, jointes à plusieurs autres, au nombre de 421, dont 138 ont donné la température de couches situées à 200 brasses (mille pieds) et plus du niveau des eaux de l'Océan, ont été recueillies par M. d'Urville, et ont formé la base d'un Mémoire fort important sur la distribution de la température dans l'intérieur des mers.

M. d'Urville explique comment il a disposé ces divers résultats sur deux tableaux synoptiques, dont les ordonnées sont d'une part l'échelle des degrés de latitude depuis l'équateur jusqu'au pôle, et de l'autre l'échelle en brasses des diverses profondeurs jusqu'à mille brasses. Sur ces deux tableaux ont été inscrites toutes les températures observées, de sorte qu'on peut à l'instant, pour chaque parallèle, saisir le rapport des températures de la surface avec celles qui ont lieu aux diverses profondeurs.

Arrivant aux conséquences qui semblent découler de toutes les observations faites jusqu'à ce jour, il croit

pouvoir les énoncer toutes dans les propositions suivantes.

Dans l'étendue des mers libres :

1° La température générale des couches inférieures, à des profondeurs de 600 brasses et plus, est presque constante et très-voisine d'une limite comprise entre 4° et 5° qui paraît être 4° 4;

2° Cette température se modifie progressivement à mesure qu'on s'élève vers la surface, pour se rapprocher de la température des eaux superficielles, relative à la saison de l'observation;

3° Dans la zône la plus rapprochée de l'équateur, c'est-à-dire entre 10° de latitude nord et 10° de latitude sud, une cause particulière semble occasionner dans les couches sous-marines, jusqu'à 100 brasses, un refroidissement plus brusque qu'on n'aurait lieu de s'y attendre.

Dans la Méditerranée :

1° La température des couches inférieures, jusqu'à 150 brasses, pourrait encore dépendre de celle des couches supérieures, et c'est d'une manière d'autant plus sensible, que celles-ci ont été plus long-temps échauffées;

2° Au delà de 150 brasses, les couches inférieures sont soumises à une température constante de 13°, à très-peu de chose près.

Enfin, dans les lacs et dans les grands réservoirs d'eau douce :

1° La température est en général d'autant plus basse qu'on s'éloigne de la surface, et le *maximum* de refroidissement est 4°,4, tant que les couches supérieures conservent une plus grande chaleur;

2° Toutefois ce *maximum*, sauf des circonstances purement accidentelles, ne saurait dépasser le *maximum* de refroidissement des eaux superficielles.

Pour expliquer cette distribution de la chaleur dans les grandes masses liquides du globle terrestre, M. d'Urville croit devoir admettre, pour les eaux de la mer, un *maximum* de densité à 4°,4, ou à peu près, comme cela était déjà établi pour l'eau douce. Cette hypothèse seule peut expliquer ce refroidissement successif des eaux profondes de l'Océan vers l'équateur, le réchauffement de ces mêmes eaux vers les pôles, et la température constante des eaux de la Méditerranée aux plus immenses profondeurs.

En outre, M. d'Urville est disposé à croire que dans l'Océan, entre les parallèles de 40° et 60° de chaque hémisphère, les eaux inférieures se dirigeraient alternativement vers l'équateur en hiver, vers les pôles en été, pour remplacer les eaux superficielles enlevées dans la zône torride par la vaporisation, et dans la zône glaciale par la fonte des glaces (1).

Les courans doivent présenter quelque exception à ces règles de distribution de la chaleur dans la mer. Nous avons déjà vu que ces exceptions avaient lieu à la surface, mais tout porte à croire qu'elles se manifestent également à de grandes profondeurs, à cause du mélange continuel de leurs eaux. Cependant il est probable que le Gulf-Stream, que M. de Humboldt compare à un immense fleuve au milieu de l'Océan Atlantique, conserve à une grande profondeur une partie de la chaleur qu'il a acquise sous de basses latitudes.

NATURE ET COMPOSITION DE L'EAU DE LA MER.

L'eau de la mer et celle des grands lacs salés est bien

---

(1) *Bulletin de la Société de Géographie*, n° 120, p. 221. Avril 1833.

loin d'être pure ; elle renferme plusieurs substances particulières que l'analyse y trouve facilement.

Généralement elle est incolore, vue en petite quantité, transparente, d'une saveur salée, âcre et saumâtre.

Sa pesanteur spécifique moyenne, déterminée par M. Gay-Lussac, est de 1,0286, et le résidu qu'elle produit par une dessiccation parfaite au rouge obscur, est de 36, 5 grammes par litre (1).

Plusieurs analyses de l'eau de mer ont été faites par Lavoisier, par Bergmann (2), par MM. Bouillon-Lagrange et Vogel (3).

Voici les deux analyses de Bergmann, et de MM. Bouillon-Lagrange et Vogel.

EAU DE MER, 1 KILOGRAMME.	BERGMANN.	B. LAGRANGE ET VOGEL.	
	Atlantique.	Manche et Atlantique.	Méditerranée.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.
Acide carbonique...........	»	0,23	0,11
Chlorure de sodium.........	32,155	26,646	26,646
Hydrochlorate de magnésie...	8,771	5,853	7,203
Sulfate de magnésie.........	»	6,465	6,991
——— de chaux............	1,039	0,150	0,150
Carbon. de chaux et de magnés.	»	0,200	0,150
	41,965	39,314	41,140

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. VI, p. 428.
(2) *Opuscules chimiques*, t. 1.
(3) *Annales de chimie*, t. LXXXVII, p. 190.

Depuis lors, l'eau de mer a été analysée par M. John Murray, qui a obtenu les résultats suivans sur l'eau du golfe de Forth, près de Leith en Ecosse (1).

EAU DU GOLFE DE FORTH, PRÈS DE LEITH, EN ÉCOSSE.

EAU, 1 KILOGRAMME.	Analyse par évaporation.	Analyse par précipitation.
	Grammes.	Grammes.
Chlorure de sodium	24,185	24,70
——— de magnésium	3,300	3,15
Sulfate de magnésie	0,780	2,12
——— de soude	1,667	»
——— de chaux	0,825	0,97
Carbonate de chaux	0,082	»
——— de magnésie	0,149	»
Sels anhydres	30,988	30,94

M. Gay-Lussac a remarqué que ce résultat était trop faible, ce qu'il fallait probablement attribuer à ce que la salure du golfe de Leith est diminuée par les rivières qui s'y jettent.

Il est facile de voir au contraire, dans l'analyse précédente de Bergmann, que le résultat en sel marin est trop fort.

Le docteur Marcet a aussi donné une analyse très-

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. VI, p. 63.

soignée de l'eau de mer, recueillie au milieu de l'Océan Atlantique Nord (1).

EAU RECUEILLIE AU MILIEU DE L'OCÉAN ATLANTIQUE NORD.

EAU, 1 KILOGRAMME.	Grammes.	SELS DESSÉCHÉS.	Grammes.
Chlorure de sodium......	26,600	ou chlorure de sodium....	26,60
——— de magnesium...	5,134	— hydrochl. de magnés...	9,91
——— de calcium......	1,232	— ——— de chaux....	1,95
Sulfate de soude.........	4,660	— sulfate de soude.......	4,66
	37,646		43,12

Cette analyse se rapproche beaucoup de celle de Bergmann; le sulfate de soude et l'hydrochlorate de chaux se transforment en partie par l'évaporation en sulfate de chaux et en chlorure de sodium.

Mais indépendamment de ces substances, l'eau de mer contient encore de l'hydrochlorate d'ammoniaque, dont M. Marcet lui-même a constaté l'existence, des iodures probablement de sodium et de magnesium, et un bromure probablement de magnesium (2). Elle doit encore renfermer du bitume, qui lui donne une saveur très-désagréable, ou du moins une matière organique qui n'a pas encore été saisie par l'analyse. L'eau des grands lacs, et surtout celle de la mer Morte, contient une bien plus grande quantité de sels que celle de l'Océan,

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XII, p. 309.
(2) *Idem*, t. XXXII, p. 337.

si toutefois on peut se fier à l'analyse suivante faite par Gmelin (1).

EAU DE LA MER MORTE.

Chlorure de calcium	3,2141
Chlorure de magnesium	11,7734
Bromure de magnesium	0,4893
Chlorure de sodium	7,0777
Chlorure de potassium	1,6738
Chlorure d'aluminium	0,0896
Chlorure de manganèse	0,0217
Sel ammoniac	0,0075
Sulfate de chaux	0,0527
	24,5398
Eau	75,4602
	100,0000

On voit qu'elle contient environ 25 p. 100 de matières salines, auxquelles il faut sans doute ajouter aussi un peu d'iodure de magnesium.

En comparant ces analyses, il semblerait que la salure des eaux varie sur différens points de l'Océan; mais on a un autre moyen plus expéditif de s'en assurer, c'est de ramener par l'expérience et le calcul toutes les eaux à la même température, et de prendre très-exactement leur pesanteur spécifique. C'est précisément ce qu'a fait aussi le docteur Marcet, et voici les résulats auxquels il est parvenu :

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXV, p. 102.

	Pesant. sp.		Pesant. sp.
Océan Arctique.....	1,02664	Mer de Marmara...	1,01915
Hémisphère nord...	1,02829	Mer Noire.........	1,01418
Équateur..........	1,02829	Mer Blanche.......	1,01901
Hémisphère sud....	1,02882	Baltique..........	1,01528
Mer Jaune.........	1,02291	Mer Glaciale.......	1,00057
Méditerranée......	1,02930	Lac Ourmia........	1,16507
Eau de la mer Morte, à 16 1/4		....	1,21223 (1)

M. Marcet conclut de ces observations :

1° Que l'Océan méridional contient plus de sel que l'Océan septentrional, dans le rapport de 1,02919 à 1,02757 ;

2° Que la pesanteur spécifique moyenne de l'eau de mer, près de l'équateur, est égale à 1,02777, ce qui forme un intermédiaire entre celles de l'eau de la mer, dans les hémisphères nord et sud ;

3° Qu'il n'y a pas de différence sensible dans la salure de l'eau de mer sous différens méridiens ;

4° Qu'aucune preuve suffisante n'établit que la mer soit plus salée à une certaine profondeur qu'à la surface ;

5° Que la mer en général contient plus de sel là où elle est la plus profonde et la plus éloignée des continens, et que sa salure diminue toujours dans le voisinage des grandes masses de glaces ;

6° Que les petites mers intérieures, quoique communiquant avec l'Océan, sont beaucoup moins salées que lui ;

7° Que cependant la Méditerranée contient plutôt une plus grande proportion de sel que l'Océan.

---

(1) Gmelin, *Annales de chimie et de physique*, t. XXXV, p. 102.

On peut facilement se rendre raison de la moindre salure de la mer au voisinage des continens, car elle reçoit une quantité d'eau douce si considérable, que leur abondance doit nécessairement influer sur leur pesanteur, ou, ce qui est la même chose, sur leur degré de salure. La proximité des pôles doit produire le même effet, et le mélange des eaux qui proviennent de la fonte des glaces, qui les recouvrent, doit aussi diminuer la densité de l'eau dans ces contrées. Cependant M. Marcet trouve l'eau de l'hémisphère méridional plus salée que celle de l'autre moitié du globe, et c'est pourtant au pôle austral que se trouvent les plus grands amas de glace. Peut-être aussi l'eau a-t-elle été puisée en hiver, lorsque les glaces polaires ne donnent que peu d'eau à l'Océan; d'un autre côté, la majeure partie des terres est dans l'hémisphère nord, et par conséquent les fleuves conduisent bien plus d'eau douce dans cette partie du monde que dans l'autre.

Les méditerranées qui sont en communication avec de grands fleuves, doivent présenter aussi une moindre salure que l'Océan, puisqu'elles reçoivent plus d'eau que leur surface ne peut en perdre par l'évaporation. Il faut pourtant en excepter la Méditerranée proprement dite et la mer Rouge. On admettait depuis longtemps que cette dernière contenait plus de sel que l'Océan, et ce fait vient d'être mis hors de doute par les observations récentes de MM. Wilkimon et Ure. L'analyse chimique leur a fourni les proportions suivantes: Pesanteur de l'eau puisée à Bérénice (mer Rouge), 1,035. 1,000 grammes de cette eau contiennent 43 grammes de sel, dont 4 de carbonate de chaux avec un peu d'hydrochlorate de magnésie. La pesanteur spécifique de l'eau de l'Océan, puisée sous la même latitude

que celle de la mer Rouge, n'est que de 1,028, et une quantité égale ne contient que 35 de sel (1).

Quant à la Méditerranée, on se rend compte de son excès de salure en se rappelant que deux courans y pénètrent par le détroit de Gibraltar et par la mer Noire, et que c'est un vaste bassin évaporatoire situé au milieu de contrées très-chaudes.

L'égalité de salure des eaux, à des profondeurs diverses, est une question qui semble résolue pour l'Océan, mais qui ne l'est pas pour la Méditerranée. On croit qu'à une grande profondeur cette eau est beaucoup plus salée qu'à la surface, et M. Lyell, qui nie l'existence d'un contre-courant qui ramènerait dans l'Océan, par le détroit de Gibraltar, un portion de l'eau qui entre par la surface, suppose même que cette eau du bassin de la Méditerranée est assez chargée de sel pour qu'il s'en dépose au fond de la mer (2). Cette opinion paraît être partagée (pour la non-existence du contre-courant) par le docteur Wollaston (3), qui prend pour base une expérience du capitaine Smith, qui ayant analysé de l'eau puisée à 670 brasses et à 50 mille en dedans du détroit, trouva qu'elle contenait quatre fois autant sel que de l'eau de mer ordinaire.

DE L'ORIGINE DES MATIÈRES SALINES DANS LA MER ET LES LACS SALÉS.

Nous verrons, en étudiant les sources minérales, que la croûte extérieure du globe est percée d'une in-

(1) *Echo du Monde savant*, n° 58.
(2) *Lyell*, *Principles of Geology*, vol. I.
(3) *Philosophical transactions*, 1829.

finité de fentes par lesquelles s'échappent des sources plus ou moins chaudes et plus ou moins salées. Ces sources apparaissent partout, mais principalement dans les terrains volcaniques. Or, comme les mers couvrent les trois quarts du globe, presque toutes les sources doivent aboutir sous les eaux et rester invisibles pour nous.

Comme la très-grande partie des volcans est située dans des îles ou sur les bords de la mer, c'est un motif de plus pour que ces sources soient plus nombreuses sous l'eau de la mer qu'à la surface des continens, et cela indépendamment de quelques phénomènes de pression qui doivent modifier leur sortie.

Un fait qui vient à l'appui de la salure des mers par le sel qu'y apportent les eaux thermales, est la présence d'une infinité de sources minérales dans le lac Baikal, qui est lui-même salé. Patrin rapporte, comme nous l'avons vu en parlant des lacs, qu'il y observa une très-grande quantité de ces sources qui ne gelaient jamais et formaient des trous arrondis de 10 à 40 pieds de diamètre, sur les bords ou dans l'intérieur du lac, sur la glace dont il était couvert. Il est probable que si les mers ou les amas d'eau salée pouvaient se congeler, on y observerait également la présence de sources thermales, comme on reconnaît celle de l'acide carbonique dans les lieux couverts d'eau, tandis qu'il est impossible de s'en apercevoir quand ce gaz, sortant du sol, se répand immédiatement dans l'air.

A cette cause de salure pour la mer et les lacs, il faut en joindre une autre, sans doute plus puissante : c'est l'arrivée continuelle de l'eau des fleuves qui non-seulement y conduisent les matières salines de toutes les sources thermales qui naissent sur les continens, mais encore celles que renferment les sources des divers terrains.

Or, toutes les eaux, même les plus pures, contiennent, comme nous l'avons déjà dit, une petite quantité d'hydrochlorate de soude ou sel marin, ainsi que des traces de quelques autres sels que les cours d'eau conduisent dans l'Océan. Là, le liquide est soumis à l'évaporation; l'eau pure s'échappe en vapeur, et vient retomber sous forme de pluie qui balaye de nouveau les continens où elle circule ainsi continuellement, rentrant dans l'Océan toujours chargée de sels, tandis qu'elle en était sortie sensiblement pure.

Voilà donc deux causes de salure qui agissent en même temps, et dont la dernière l'emporte de beaucoup sur l'autre, quoique tous les sels qui sont dissous et charriés aient probablement la même origine.

La grande quantité de chlorure de sodium (sel marin, hydrochlorate de soude, ou muriate de soude) que renferment les eaux de la mer, nous prouve que ce sel est produit plus abondamment que les autres; il domine dans toutes les mers, mais il n'en est pas de même pour les lacs. Ainsi, malgré l'étendue du lac Asphaltique ou mer Morte, c'est le chlorure de magnesium qui l'emporte pour la quantité sur tous les autres sels. Dans certains lacs d'Égypte, c'est le natron ou carbonate de soude.

Nous avons déjà vu que la quantité de matières salines variait dans les différentes mers; mais d'après ce que nous venons de dire, la salure des eaux doit continuellement augmenter, puisque l'eau qui s'échappe des mers ne peut être enlevée qu'à l'état de vapeur et qu'elle y retourne toujours chargée de sel. Ainsi, en mettant de côté toute autre cause, les mers doivent se saler de plus en plus. Si maintenant l'évaporation n'est pas en rapport avec le tribut des fleuves et qu'elle le surpasse, la salure augmentera plus vîte,

comme cela doit avoir lieu dans la mer Rouge et dans la Méditerranée; si le contraire à lieu, il n'y a pas de raison pour que l'eau puisse se saturer, et le sel sera toujours entraîné par le courant qui s'échappera.

Ces phénomènes doivent surtout être sensibles dans les grands lacs salés, et si l'on avait par exemple une analyse ancienne et exacte des eaux de la mer Caspienne que l'on pût comparer à une analyse moderne, on trouverait probablement une très-grande différence entre les quantités de sel pour les deux époques.

Des analyses comparées des eaux de cette mer avec celles du lac Aral et de la mer Noire jetteraient sans doute un grand jour sur les rapports de ces divers bassins.

CHAPITRE ONZIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MERS.

Quand on fait attention aux limites actuelles des mers, qui n'ont pas sensiblement changé depuis les temps historiques, on se demande si la mer diminue ou si elle a toujours été au même niveau. Le témoignage de tous les voyageurs qui ont rapporté des coquilles fossiles recueillies dans les calcaires marins qui sont adossés à une grande élévation aux roches primitives des Alpes et d'un grand nombre d'autres montagnes, a fait croire long-temps que la mer avait couvert ces montagnes et s'était élevée jusqu'au-dessus de leurs cimes. On pense maintenant qu'il est plus raisonnable d'admettre le soulèvement des montagnes que l'abaissement des eaux, et nous étudierons par la suite les faits sur lesquels repose cette ingénieuse théorie. Cependant, on ne peut disconvenir que la mer n'ait baissé, ou du moins que ses eaux n'aient diminué, et c'est à leur décomposition que l'on attribue généralement cet abaissement de niveau.

Van Helmont fut le premier qui crut pouvoir expliquer de cette manière la diminution graduelle du niveau de la mer.

Newton pensait aussi que les parties solides de la terre vont en augmentant sans cesse, tandis que les parties fluides diminuent d'un jour à l'autre, et qu'elles disparaîtront enfin totalement de notre globe, comme on pense aujourd'hui qu'elles ont déjà disparu de la lune qui paraît un globe tout-à-fait aride.

Celsius, membre de l'académie de Stockholm, a assuré, en 1743, que la Baltique et l'Océan se retiraient graduellement des côtes de Suède, et plusieurs rochers qu'on sait très-bien avoir été couverts par les eaux de la mer, se trouvent maintenant de plusieurs pieds au-dessus de sa surface : la même observation fut faite sur les côtes du Chili. Il attribuait cette diminution à la décomposition de l'eau qui s'opère sur la terre, par l'effet de la végétation, qui la convertit en parties solides, et enfin en parties terreuses, par la putréfaction des végétaux.

Cette opinion de Celsius paraît confirmée aujourd'hui par l'expérience; mais il paraît prouvé aussi que le prétendu abaissement de la Baltique, qui s'est continué depuis 1743, est dû au soulèvement lent et graduel d'une partie de la Suède.

Buffon, qui croyait aussi à la diminution des eaux, l'attribuait à l'action vitale des testacées et autres animaux marins à enveloppe pierreuse, qui, selon lui, auraient pu changer l'eau de la mer en terre calcaire.

M. Geoffroi St-Hilaire pense aussi que la majeure partie du calcaire qui existe sur la terre a été formée par les animaux.

Plusieurs auteurs ont publié des observations tendant à constater la diminution de la mer. De Saussure en a fait une remarquable sur les bords de la Méditerranée, entre Monaco et Vintimille. Il a vu d'immenses rochers calcaires coupés à pic au bord de la mer, et dont

la surface offrait, jusqu'à la hauteur de plus de 200 pieds au-dessus du niveau actuel des eaux, une multitude d'excavations profondes que cet habile observateur a reconnu pour être l'ouvrage des flots lorsqu'ils étaient plus élevés. Il rapporte ainsi cette curieuse observation :

« Je désirais depuis long-temps de trouver, au bord de la mer, quelque rocher de ce genre sur lequel l'impression des flots eût pu se conserver, au cas qu'anciennement ils l'eussent battu à une hauteur supérieure à celle du niveau actuel; je l'observai donc avec toute l'attention dont je suis capable.

» Le pied de ce rocher, dans l'endroit où passe le chemin (qui n'est qu'un sentier), est élevé d'environ 20 pieds au-dessus de la surface actuelle de la mer.... Là, je vis une caverne ouverte à fleur de terre, du côté de la mer; son entrée avait au moins 25 pieds de hauteur, sur 22 de largeur et sa profondeur était d'environ 100 pieds; la voûte est également exhaussée jusqu'au fond, et ce fond est exactement fermé; on n'y voit point, comme dans beaucoup d'autres cavernes, d'ouverture par lesquelles les eaux de l'intérieur de la montagne aient pu y entrer et former ensuite la caverne en excavant le rocher; *cependant la voûte et les parois intérieures sont partout arrondies.*

» On voit encore au-dessus de la caverne, sur la surface du rocher, des cavités du même genre.

» On voit même au-dessus de la caverne, environ à 70 pieds du niveau de la mer, une autre caverne qui se présente directement à la mer, *et dont tous les contours sont si bien arrondis, qu'on ne peut guère douter qu'elle n'ait été creusée par l'action des vagues.*

» A quelques pas de là, on rencontre une seconde caverne semblable à la première.

» Un peu plus loin, on voit au haut du rocher une grande concavité tournée du côté de la mer, dont le diamètre, mesuré dans la partie qui lui correspond en bas, est d'environ 100 pieds, et le haut a la forme d'une voûte *où l'on croit voir encore la trace des ondes qui paraissent l'avoir formée.*

» Plus loin encore, on rencontre une troisième caverne plus large, mais moins profonde que les deux premières, et *parsemée comme elles d'excavations arrondies.*

» Ensuite une quatrième, fort évasée et peu profonde.

» Puis une cinquième, d'environ 50 pieds de profondeur sur 35 à 40 d'ouverture.

» Je me lassai de les compter; mais j'en vis d'autres encore toutes semblables aux premières, et même jusqu'aut haut du rocher, *à une élévation de plus de* 200 *pieds au-dessus du niveau de la mer.*

» Comme toutes ces excavations ont par le haut la forme de voûtes solides, qu'elles sont dépourvues de toute ouverture intérieure, et creusées sur toute la surface verticale et même surplombante d'un roc sain aussi dur que le marbre, elles ne sauraient être l'ouvrage des eaux pluviales.

» J'examinai avec le plus grand soin si je ne trouverais pas quelqu'indice qui prouvât que la substance du rocher se fût trouvée plus destructible par places; mais je le trouvai partout également dur et homogène, sans pouvoir y découvrir aucun mélange d'une matière plus tendre.

» Comme le bas de ce rocher forme un petit promontoire saillant dans la mer, je descendis jusqu'au bord pour observer le travail actuel des eaux sur ce même rocher, et j'y trouvai des cavités arrondies, sem-

blables en petit à celles que je venais d'observer au-dessus. »

« Je regarde donc, dit Saussure, ces cavités comme l'ouvrage des eaux de la mer (§ 1382 et 1383). »

Ce fait, si l'on ne trouve pas d'autres moyens de l'expliquer, démontre l'abaissement successif des eaux, puisque ces cavernes ont été creusées par l'action érosive des flots.

Il est une autre considération qui ne peut laisser aucun doute sur la diminution des eaux. Patrin l'a émise le premier dans son histoire naturelle des minéraux.

« Personne n'ignore, dit-il, qu'il existe sur tous les points du globe une infinité de fleuves et de rivières qui roulent continuellement à la mer des atterrissemens formés des débris des continens, qui doivent à la longue combler son bassin, comme celui de plusieurs lacs a déjà été comblé en tout ou en partie par une cause semblable. »

On peut se faire une idée de la masse de ces atterrissemens, en considérant les bancs énormes de graviers que l'on voit paraître à chaque crue des grandes rivières, et surtout de celles dont le cours est rapide, comme le Rhône, le Rhin, la Loire, etc. On observe des deltas immenses à l'embouchure des grands fleuves de l'Amérique. Ces bancs et ces deltas sont formés par le mouvement progressif des sables et des galets qui sont roulés par les eaux ; or, ces galets, qui toujours descendent vers la mer sans jamais rétrograder, finissent par se jeter dans son bassin ; il est donc bien évident que s'il ne s'opérait pas une diminution continuelle dans la masse des eaux, elles seraient obligées de refluer sur les continens qu'elles envahiraient sans cesse, à mesure que le fond de leur bassin s'élèverait

par l'accumulation des galets, des sables, du limon, en un mot de tous les corps étrangers qui ne cessent de s'y précipiter de toutes les parties du monde.

Il paraît qu'à l'époque où nous sommes, il existe une sorte d'équilibre entre le volume des matières que les fleuves charrient dans le sein des mers, et la quantité des eaux qui sont décomposées, et que c'est par cette raison qu'on ne s'aperçoit pas, d'une manière sensible, de cette diminution journalière dans la masse générale des eaux.

Nous ne reviendrons pas ici sur ce que nous avons dit relativement à la séparation de la mer Noire, de la Caspienne et du lac Aral; mais tout porte à croire qu'à la suite des siècles le bassin des mers se desséchera entièrement. Avant d'arriver à cette époque, les continens augmenteront d'étendue; les archipels, qui ne sont que des sommets de grandes chaînes ou des groupes sous-marins, formeront des contrées montueuses dont les vallées s'ouvriront en golfes ou en baies au milieu des eaux. Les méditerranées deviendront plus nombreuses et finiront par se séparer entièrement des continens; elles se changeront en grands lacs que l'évaporation finira par dessécher.

M. Bory pense que les courans deviendront à la longue de grands fleuves, à mesure que la diminution des eaux étendra les continens, et qu'on pourrait d'avance les tracer sur une mappemonde conjecturale.

Si les mers disparaissaient, la colonne d'air qui arriverait sur leur fond desséché ne serait pas plus haute que celle qui pèse à la surface, parce que cette surface est la base qui porte et sur laquelle repose l'atmosphère, mais les montagnes qui existent actuellement sur les continens seraient plus froides, précisément comme si elles avaient augmenté en hauteur de la quantité dont

la surface de la mer aurait baissé. Par la même raison, si le niveau de la mer a été plus élevé qu'il ne l'est actuellement, les montagnes ont joui d'une plus haute température, et ces grands mouvemens séculaires de notre atmosphère doivent avoir eu la plus grande influence sur la distribution des êtres organisés à la surface de notre planète.

La diminution des eaux de la mer doit avoir des causes diverses, et nous avons déjà dit qu'on l'attribuait assez généralement à l'action vitale des êtres organisés, qui tous absorbent de l'eau et la solidifient en partie. L'évaporation paraît aussi contribuer à diminuer la quantité d'eau de l'Océan, car il n'est nullement prouvé que toute celle qui s'élève en vapeur y retourne. Voici du moins un calcul qui semble s'opposer à ce qu'on admette cette entière restitution.

« Suivant Mariotte, la Seine ne verserait chaque année, dans la mer, que la sixième partie de la quantité d'eau qui tombe sur toute l'étendue de son bassin à l'état de pluie, de neige et de rosée. Les autres cinq sixièmes devraient ou s'évaporer pour former les nuages, ou imbiber les terres superficielles, dans lesquelles les plantes trouvent leur nourriture, ou pénétrer par les fissures des rochers, jusqu'aux réservoirs intérieurs, d'où sortent les fontaines. Le calcul de Mariotte a été refait récemment d'après des données plus exactes, surtout en ce qui concerne le jaugeage de la Seine. En voici les résultats tels qu'ils sont consignés dans un excellent travail, encore inédit, de M. Dausse, ingénieur des ponts et chaussées. Le bassin de la Seine, que nous terminerons à Paris, puisqu'il sera aisé de jauger les eaux qui passent sous l'un des ponts, a 4,327,000 hectares de superficie. L'eau qui tombe dans ce bassin, si elle ne s'évaporait pas, si elle ne pénétrait pas dans le

sol, si le terrain était partout horizontal, y formerait, au bout de l'année, une couche liquide de 53 centimètres de hauteur. Il est facile de voir qu'une pareille couche se composerait en volume de 22,933 millions de mètres cubes d'eau. Or, au pont de la Révolution, le débit moyen de la Seine est :

De 255 mètres cubes par seconde,

Ou de 22 millions de mètres cubes par jour,

Ou de 8042 millions de mètres cubes par an.

» Ce dernier nombre est à 22,933 millions de mètres cubes, pluie annuelle du bassin de la rivière, comme 100 à 285, ou presque comme 1 à 3. Ainsi, le volume d'eau qui passe annuellement sous les ponts de Paris n'est guère que le tiers de celui qui tombe en pluie dans le bassin de la Seine. Deux tiers de cette pluie, ou retournent dans l'atmosphère par voie d'évaporation, ou entretiennent la végétation ou la vie des animaux, ou s'écoulent dans la mer par des communications souterraines (1). »

Si maintenant on admet, avec la plupart des géologues, que le globe, d'abord incandescent, s'est refroidi graduellement, il faudra aussi supposer que les couches solides de la terre, entourant, comme on l'admet généralement, un noyau encore fondu, doivent, à mesure qu'elles se refroidissent, s'imbiber d'eau. Cette eau, autant combinée que simplement interposée, à en juger par la nature des substances minérales, et des roches qui nous sont connues, formera au moins un cinq centième du volume des couches imbibées; par conséquent, pour une épaisseur de mille mètres ajoutée à la

---

(1) *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

croûte solide du globe par l'effet du refroidissement progressif, il y aura une quantité d'eau absorbée équivalente à une couche de deux mètres sur la surface entière du globe, et cela formerait une épaisseur plus forte encore sur la partie occupée par les eaux. La terre serait donc destinée à devenir, comme la lune, un corps sec et aride, entièrement privé d'êtres vivans ; car l'équilibre que l'on observe depuis quelques mille ans, dans les températures moyennes de la surface, n'est pas absolu et provient seulement de ce que la quantité de chaleur arrivant du centre compense presque exactement celle qui se perd incessamment par le rayonnement à travers les espaces célestes. On est ainsi conduit à admettre un accroissement dans l'épaisseur de la couche refroidie extérieure, accroissement qu'on pourra peut-être calculer un jour, mais qui doit être très-lent (1).

Si, comme tout y invite, on admet la diminution graduelle des eaux sur la terre, il faudra aussi admettre un changement de composition chimique ; à mesure que l'eau s'évaporera, la masse de sel augmentera nécessairement, et un temps viendra où ce sel ne pouvant plus être tenu en solution, cristallisera au milieu des bassins (comme M. Lyell suppose déjà que la chose a lieu dans la Méditerranée), à moins qu'une cause quelconque ne puisse le détruire, comme le pensait Patrin, attribuant ce pouvoir aux volcans d'Italie. Enfin, il arrivera pour la mer ce que nous voyons arriver à certains lacs salés, qui se dessèchent et laissent à nu, soit des efflorescences de carbonate de soude, soit du

---

(1) *Echo du Monde savant*. 14 février 1836.

sel marin ou de sulfate de magnésie. Nous avons du reste sous les yeux l'exemple de la mer Morte, qui contient déjà 25 p. cent de matières salines, et qui peut-être en renferme une quantité beaucoup plus forte à une grande profondeur. Aussi, il n'y aurait rien d'étonnant qu'il se formât, dans certaines mers, des couches de sel gemme comme celles que l'on trouve dans l'intérieur de la terre. Peut-être même se forme-t-il aussi, dans le fond des mers, des couches de carbonate de chaux, qui s'y déposent comme un précipité chimique. Il suffit de se rappeler que beaucoup d'eaux de sources, et surtout celles qui proviennent de sources thermales, renferment du carbonate de soude, et que d'autres contiennent de l'hydrochlorate de chaux. Il doit y avoir double décomposition, et ce phénomène explique à la fois la présence du sel marin dans les eaux et les grands dépôts de carbonate de chaux dans lesquels l'apparition des coquilles marines indique une formation déposée au milieu des eaux salées.

Si ce phénomène n'est plus produit dans nos mers actuelles, on peut supposer avec assez de vraisemblance qu'il a eu lieu autrefois. Il a dû, dans tous les cas, être considérablement modifié, comme tous les dépôts qui se forment actuellement dans la mer, par l'énorme pression qui existe dans ses profonds abîmes. Cette pression doit être bien considérable, puisqu'une colonne d'eau de 32 pieds équivaut au poids entier de l'atmosphère; et comme l'eau de la mer est plus dense que l'eau pure, la colonne doit être plus courte, en sorte que dans un grand nombre de lieux le fond de la mer doit être soumis à une pression qui va de 150 à 200 atmosphères, poids énorme, puisque, si nous supposons un corps d'un décimètre carré, placé seulement à mille mètres de profondeur, il sera comprimé par un poids de dix

mille kilogrammes. Que l'on juge de la différence des effets qui peuvent être produits sous une telle pression, et qu'on les compare à ceux que nous présentent tous les jours nos cours d'eau, lorsqu'ils forment des alluvions recouvertes de quelques pieds de liquide. L'eau elle-même, quoique chaque atmosphère ne puisse la comprimer que de 51, 3 millionièmes de son volume, doit être sensiblement plus dense à de grandes profondeurs.

La lumière solaire devient insensible à 300 mètres de profondeur, et celle de la lune, dans les circonstances les plus favorables, ne descend pas au-delà de 40 pieds (1).

Aucun être organisé ne vit dans ces ténébreux abîmes. Les coquillages se trouvent presque tous au-dessus d'une profondeur de 20 mètres. Quelques-uns, comme les *térébratules*, si rares maintenant et si répandues à l'état fossile dans les anciens dépôts de la mer, s'enfoncent encore aujourd'hui jusqu'à 160 à 180 mètres. Le corail, capable de supporter une grande pression, n'atteint jamais 200, et une seule plante marine se pare encore de vives couleurs à 305 mètres au-des-

---

(1) M. X. Maistre a fait des expériences pour reconnaître à quelle profondeur pénètrent les rayons de la lune dans la mer. A cet effet, l'astre étant au méridien, à une hauteur de 28 degrés, il faisait descendre dans la mer une plaque de fer carrée de 14 pouces de côté, peinte en blanc avec de la céruse, et la tête ombragée par un parapluie qui le mettait à l'abri de la lumière directe de la lune, il suivait des yeux la plaque aussi long-temps qu'il le pouvait, et faisait mesurer la profondeur aussitôt qu'il la perdait de vue. Cette profondeur a toujours été d'environ 40 pieds. (*Institut*, 3ᵉ année, p. 176.)

sous du niveau de l'Océan ; elle forme le dernier degré de cette grande échelle verticale, sur laquelle les êtres organisés sont distribués d'une manière si singulière et si mystérieuse pour nous.

CHAPITRE DOUZIÈME.

DE LA PHYSIONOMIE DES EAUX.

Sous ce titre, nous allons essayer de décrire certains caractères que nous offre l'eau réunie en masses plus ou moins étendues, et que nous n'aurions pu intercaler dans les chapitres précédens. C'est principalement la surface du liquide que nous voulons étudier, et nous sommes certains que tous ceux qui ont observé la nature avec soin, reconnaîtront de suite ces apparences variées que présentent surtout les mers et les grands lacs.

Il est bien rare que la surface de l'eau soit parfaitement calme; c'est pourtant ce qui arrive quelquefois sur la mer, et alors le liquide s'étend comme une vaste nappe d'huile. Plus rarement un tel calme se fait remarquer sur les lacs.

La surface des grands amas d'eau supportant l'atmosphère, et étant douée d'une grande mobilité, il en résulte que le plus petit dérangement dans l'air se ressent également sur l'eau, et presqu'au même instant. Si le vent est faible, il en résulte des ondes qui suivent l'impulsion qui leur est communiquée, qui se succèdent avec une rapidité plus ou moins grande, et se propagent en s'affaiblissant toujours à mesure qu'elles s'éloignent du point où elles ont pris naissance. Les lacs présentent presque toujours des ondes.

Si le vent augmente en suivant une direction constante, les ondes deviennent aussi plus fortes, et for-

ment des lignes très-étendues et presque droites, qui s'avancent avec la même vîtesse sur tous les points; on les désigne alors sous le nom de *lames*. Si une de ces lames atteint le rivage, elle se brise avec écume contre les falaises, ou semble rouler sur elle-même, et s'étendre en s'amincissant, si elle rencontre une plage douce et unie.

Les *flots* et les *vagues* sont produits par des vents plus forts, et qui souvent changent de direction, ou soufflent de plusieurs points à la fois. Alors les lames n'existent plus, elles sont brisées, et l'eau s'élèvant en montagnes écumantes, s'affaisse et remonte à chaque instant, formant ainsi des collines et des vallées mobiles qui se détruisent et reparaissent tour à tour. Quelquefois deux vagues viennent se heurter et se confondre, et la limite forme à leur sommet une ligne d'écume que de nouveaux flots viennent briser et désunir. Ces vagues atteignent dans la tempête une grande élévation, surtout si elles rencontrent quelqu'obstacle contre lequel elles s'élèvent avec une grande vîtesse. Les vaisseaux situés en pleine mer montent tout-à-coup sur la crête des vagues, et redescendent bientôt dans de profondes vallées mobiles et changeantes comme les pentes sur lesquelles ils viennent de glisser; ils sont balancés dans tous les sens, et c'est ce mouvement d'oscillation dont on ne peut prévoir ni l'étendue ni la direction, qui fatigue le plus les personnes qui n'ont pas l'habitude des voyages de long cours. Les lacs sont comme les mers soumis à la violence des vents, et présentent des phénomènes analogues.

Cette violente agitation des flots cesse si la pluie survient, et dans les mers polaires, quand le froid atteint la surface de l'eau, ou lorsqu'une couche de neige vient à s'y déposer, le mouvement diminue et le calme se rétablit.

Les mouvemens excités dans les eaux de la mer, par les plus violentes tempêtes, ne s'étendent pas à une profondeur qui excède quinze ou vingt toises; mais les mouvemens généraux de l'Océan, dont le principe réside dans l'attraction des corps célestes, et qui produisent le flux et le reflux, se communiquent à la masse entière des eaux, jusques dans les plus profonds abîmes de la mer du Sud.

Les vagues produites par les marées avancent ordinairement lentement et se retirent de même quand les vents ou la forme des côtes ne viennent pas gêner leurs mouvemens. La configuration du sol a surtout une grande influence sur leur vîtesse.

C'est ce que l'on peut observer dans la baie de Cancale, près du Mont-Saint-Michel. On peut, à la marée basse, passer à pied sec pour aller de la côte à l'église; mais si l'on était pris par le flot, la course la plus rapide ne pourrait vous y soustraire, et l'on serait infailliblement submergé. Un effet semblable, mais dû aux vents, a lieu dans la mer Rouge, à Suez.

Sur la côte d'Or, la vague est tellement furieuse qu'on ne peut rien y débarquer que dans des futailles; on les jette à la mer près de la barre, et le flot les pousse à terre.

Indépendamment de ces mouvemens, il en est d'autres qui semblent plus difficiles à expliquer, parce qu'ils sont indépendans des vents et des marées. Tantôt ils se manifestent sous forme de simples rides à la surface des lacs ou de la mer, et l'on est tout surpris de voir une partie d'un lac couverte de rides nombreuses, tandis que le reste n'est nullement agité. On aperçoit sur la mer un espace circonscrit qui présente le même phénomène, tandis que les parties environnantes sont dans un calme plat. Ces mouvemens indiquent dans le

niveau de l'eau des inégalités qui vont quelquefois jusqu'à produire de petits courans à la surface. Ce fait curieux n'a pas échappé à M. de Humboldt, auquel toutes les sciences sont redevables de si précieuses observations. Il le remarqua pendant sa traversée en Amérique :

« Lorsque la mer est parfaitement calme, il paraît à » sa surface des bandes étroites semblables à de petits » ruisseaux, et dans lesquelles les eaux coulent avec » un bruit très-sensible pour l'oreille d'un pilote expé» rimenté. Le 15 juin, par les 34° 36′ de latitude bo» réale, nous nous trouvâmes au milieu d'un grand » nombre de ces lits de courans. Nous pûmes en re» lever la direction avec la boussole. Les uns portaient » au nord-est, d'autres à l'est-nord-est, quoique le mou» vement général de l'Océan, indiqué par la compa» raison de l'estime et de la longitude chronométrique, » continuât à être au sud-est. Il est très-commun de voir » une masse d'eaux immobiles traversée par des filets » d'eaux qui coulent dans différentes directions. On » peut observer ce phénomène journellement à la sur» face de nos lacs; mais il est plus rare de trouver des » mouvemens partiels imprimés par des causes locales à » de petites portions d'eau au milieu d'une rivière pé» lagique qui occupe un espace immense, et qui se » meut dans une direction constante, quoique avec » une vîtesse peu considérable. Dans le conflit des cou» rans, comme dans l'oscillation des vagues, notre » imagination est frappée de ces mouvemens qui sem» blent se pénétrer, et dont l'Océan est sans cesse » agité (1). »

---

(1) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 153.

Une différence dans la température et dans la salure des eaux peut, jusqu'à un certain point, permettre d'expliquer la présence de ces petits courans dans la mer et les lacs salés. Peut-être une de ces causes agit-elle aussi sur les amas d'eau douce; mais on doit attribuer en partie ces phénomènes à la pression inégale exercée sur une masse mobile par des colonnes d'air de pesanteur différente, explication donnée par M. Vaucher, de Genève, et dont nous avons déjà parlé en nous occupant des *seiches*.

DE LA COULEUR DES EAUX.

Toutes les personnes qui ont vu de grandes masses d'eau savent que ce liquide présente toujours une teinte particulière qu'il ne conserve plus lorsqu'on le puise dans un vase, quelle que soit sa capacité, et il est très-remarquable que plusieurs sortes de ces eaux colorées soient ordinairement très-pures.

Il est bien rare que l'eau de source se présente en assez grande masse pour qu'on puisse distinguer sa couleur; cependant on remarque une tendance à la coloration dans toutes les eaux thermales. Celles de Porla, en Suède, sont jaunâtres; celles de Vichy, à la source de l'Hôpital, sont vertes; celles de Jaude, à Clermont-Ferrand, sont blanchâtres et légèrement opaques. Dans tous ces cas, la couleur est due à des matières organiques qui sortent de l'intérieur du globe.

Les ruisseaux eux-mêmes présentent des teintes variées. Ils sont noirs dans les montagnes, gris ou verdâtres dans les plaines.

Les rivières offrent, dans leurs couleurs, des différences bien singulières. On voit en Suisse des eaux grises, quoique parfaitement transparentes, et d'autres

qui sont vertes, quoique souvent très-rapprochées. On assure même qu'à l'époque de la fonte des neiges, les eaux, d'abord d'un vert d'émeraude, prennent, en s'éloignant, une teinte de vert-pré, tandis que le Rhône, en sortant du lac de Genève, offre la teinte foncée de l'indigo.

C'est surtout en Amérique que l'on trouve une différence bien marquée entre l'eau de plusieurs rivières. M. de Humboldt a recueilli sur cet objet des renseignemens très-importans qui sont consignés dans son *Voyage aux régions équinoxiales.*

« A l'embouchure du Rio-Zama, nous entrâmes, » dit le célèbre voyageur, dans un système de rivières » qui mérite beaucoup d'attention. Le Zama, le Ma- » taveni, l'Atabapo, le Tuamini, le Temi, le Guainia, » ont des *aguas negras*, c'est-à-dire que leurs eaux, » vues en grandes masses, paraissent brunes comme » du café ou d'un noir verdâtre. Ce sont cependant » les eaux les plus belles, les plus claires, les plus » agréables au goût (1).

» Lorsqu'un petit souffle de vent agite la surface » de ces rivières noires, elles paraissent d'un beau » vert-pré, tandis que dans l'ombre le Zama, l'Atabapo » et le Guainia sont entièrement noirs.

» Dans ce vaste système de rivières que nous avons » parcourues (et ce fait paraît assez frappant), les » eaux noires sont principalement restreintes à la bande » équatoriale. On commence à les trouver vers les 5° » de latitude nord. Elles abondent jusqu'au-delà de » l'équateur, vers les 2° de latitude australe. L'embou-

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 229 et suiv.

» chure du Rio-Negro se trouve même par les 3° 9′ » de latitude; mais, dans cet intervalle, les eaux noires » et blanches sont si extraordinairement mêlées dans les » forêts et les savanes, que l'on ne sait à quelle cause » on doit attribuer la coloration des eaux. Le Cassi- » quiare, qui se jette dans le Rio-Negro, a les eaux » blanches comme l'Orénoque dont il sort. De deux » affluens du Cassiquiare, qui sont très-rapprochés, » le Siapa et le Pacimony, l'un est blanc et l'autre » est noir.

» Ce qui prouve l'extrême pureté des eaux noires, » c'est leur limpidité, leur transparence et la netteté » avec laquelle elles réfléchissent l'image et les teintes » des objets environnans. Les plus petits poissons s'y » distinguent à une profondeur de 20 à 30 pieds; le » plus souvent on reconnaît le fond de la rivière. Ce » n'est point une vase jaunâtre ou brunâtre comme les » eaux, c'est un sable quartzeux et granitique d'une » blancheur éblouissante (1).

» Le manque de crocodiles et de poissons, une fraî- » cheur plus grande, un moindre nombre de mous- » tiques piquantes, et un air salubre distinguent la » région des rivières noires. Elles doivent probablement » leur couleur à une dissolution de carbure d'hydro- » gène, à l'abondance de la végétation et à la multi- » tude de plantes dont est couvert le sol qu'elles tra- » versent (2).

» Le peuple prétend, en outre, que ces eaux ne » brunissent point les rochers, et que les rivières

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 267.

(2) Idem, *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 228.

» blanches ont les bords noirs, tandis que les rivières » noires ont les bords blancs. En effet, les plages de la » Guainia, que les Européens connaissent sous le nom » de Rio-Negro, offrent fréquemment des masses de » quartz sortant du granit et d'une blancheur écla- » tante. »

L'eau des lacs offre, comme celle des rivières, des différences très-notables pour la couleur; ainsi, ceux qui ont parcouru la Suisse ont pu remarquer que chacun de ses lacs a une physionomie particulière. Ils offrent une foule de nuances entre le vert, le bleu et le noir. Plusieurs lacs de la Savoie et du Pérou ont des teintes brunâtres, presque noires. Les petits amas d'eau qui se rassemblent sur les glaciers des hautes montagnes présentent aussi, malgré leur peu de profondeur, des teintes pures qui rappellent le bleu et quelquefois le jaune ou le vert.

L'eau de l'Océan est, comme on sait, aussi transparente et aussi dépourvue de couleur que celle des sources les plus pures; mais vue en grande masse, elle offre toujours une teinte assez prononcée, et qui varie dans différens parages. On en a observé de rougeâtre sur les côtes de Californie, à l'embouchure du Rio-de-la-Plata, de jaunâtre autour des Maldives et dans le Pont-Euxin, entre la Chine et le Japon; de blanchâtre dans le golfe de Guinée; mais ces différentes teintes ne sont réellement que des exceptions. La couleur ordinaire de la mer est un vert particulier, quelquefois très-intense, au point que, de loin, des personnes qui n'ont jamais vu l'Océan le prennent pour une vaste prairie. Cette teinte verte est surtout remarquable vers les côtes, dans tous les lieux où les eaux ont peu de profondeur. A mesure que l'on avance en pleine mer, le vert se change en bleu, et devient

d'un azur vif quand on est tout à fait éloigné des côtes.

Le bleu est donc la couleur naturelle de l'eau, comme il est celle de l'air. Partout où le bleu se montre, la lumière, absorbée dans la masse liquide, n'atteint pas le fond, et les seuls rayons bleus éprouvent une forte réflexion. Mais quand la mer est peu profonde, la couleur est modifiée par celle de la lumière que le fond renvoie. Ainsi, selon M. Scoresby, un fond de sable fin et brun dans une mer peu profonde, donne à cette mer une teinte gris-verdâtre ou vert-pomme, d'autant plus foncée, que le fond réfléchit moins de rayons. Là où le sable est jaune, l'eau paraît d'un vert sombre; si le sable est obscur, la teinte de la mer le sera également. Le sable bien broyé, ou la vase, donnent à la mer une couleur grisâtre. Ces effets ont été probablement la cause des dénominations de mer *Blanche*, mer *Rouge*, mer *Noire*, etc., que l'on a appliquées à certaines parties de l'Océan. Près de l'embouchure des grandes rivières, la mer a souvent une teinte brune provenant de la vase et des autres substances terreuses qui sont tenues en suspension concurremment avec des couleurs végétales ou animales amenées de terre par les eaux du fleuve; mais en pleine mer et loin des bas-fonds, les couleurs ordinaires des eaux sont le bleu pur et le bleu verdâtre. Pour éviter les illusions en déterminant les couleurs de la mer, M. Scoresby recommande de regarder l'eau à travers un long tube qui en atteigne presque la surface (1). D'après cet excel-

(1) La majeure partie de ce que nous rapportons sur la couleur de la mer est extrait du rapport verbal de M. Arago sur l'ouvrage de M. Scoresby. *Annales de chimie et de phys.*, t. XVIII, p. 22.

lent observateur, les eaux des mers polaires offrent des teintes variables depuis le bleu intense jusqu'au vert-olive. Certains jours, elles sont d'une grande transparence, et quelquefois au contraire d'une opacité frappante. Ces changemens ne dépendent pas de l'état de l'air, mais seulement de la quantité des eaux. Hudson, en 1607, avait déjà remarqué ces variations de couleur dans les eaux de ces mers. Suivant lui, l'eau est bleue près des glaces, et verte dans les parties libres; mais il s'en faut bien que cette règle soit générale. Les eaux vertes se rencontrent fréquemment vers le 74e et le 80e degrés de latitude nord, et occupent peut-être un quart de l'étendue que les pêcheurs appellent *The Greeland sea*. Des eaux vertes d'un genre tout particulier sont quelquefois entraînées par les courans et changent de place; mais sur divers points, elles se renouvellent chaque année. Souvent ces eaux sont réunies en longues bandes, dirigées du nord au sud ou du nord-est au sud-est, mais avec des dimensions très-variables. M. Scoresby a vu de ces bandes qui, sur une longueur de deux ou trois degrés en latitude, avaient, en largeur, sur quelques points, un très-petit nombre de milles; dans d'autres, jusqu'à dix ou quinze lieues. C'est ordinairement vers le prolongement du méridien de Londres que ces bandes vertes existent. En 1817, dans l'espace compris entre 74° et 75° de latitude nord, la mer était bleue et transparente depuis 12° jusqu'à 0,12′ de *longitude est*; au delà l'eau acquérait une légère opacité, et sa couleur devenait *vert-pré* un peu sombre. Quelquefois le passage du bleu au vert se fait progressivement, et toutes les nuances comprises entre ces deux couleurs se présentent dans l'espace de trois ou quatre lieues. Dans d'autres circonstances, au contraire, la transition est si brusque, que la ligne

de séparation du bleu et du vert s'offre aux yeux aussi nettement que les limites d'un courant. Les deux qualités d'eau demeurent alors parfaitement distinctes, comme le sont les eaux d'une large rivière chargée de limon et celles de la mer, à peu de distance de l'embouchure. En 1817, M. Scoresby rencontra des espaces si étroits que, dans le court intervalle de dix minutes, son bâtiment se trouvait successivement sur des bandes vert-pâle, vert-olive et bleu-diaphane.

Les baleines se trouvent principalement dans les eaux vertes où elles trouvent leurs alimens. M. Scoresby, en examinant attentivement ces eaux, découvrit qu'elles renfermaient un grand nombre d'animaux demi-transparens du genre méduse, dont la teinte jaune, unie à la couleur bleue des eaux, devait nécessairement donner un aspect vert au liquide qui les contenait. En examinant les diverses espèces d'eau de mer, il trouva que ces animaux, qui probablement servent de nourriture aux baleines, existaient en grande abondance dans l'eau *vert-olive*, et en bien moindre quantité dans l'eau d'une teinte *bleu-verdâtre*. La distance entre deux méduses, dans l'eau vert-olive, était d'un quart de pouce environ; d'après cela, un pouce cube de liquide en contiendrait 64, un pied cube 110,592, une brasse cube 23,887,872, et un mille cube environ 23,888,000 centaines de millions. Les eaux bleues ne renferment qu'une très-petite quantité de ces animalcules, et sont si diaphanes que l'on a aperçu quelquefois le fond de la mer jusqu'à 80 brasses de profondeur. Leur belle couleur d'azur est due, selon toute apparence, aux mêmes causes qui rendent le ciel bleu, et qui communiquent une teinte presque semblable aux lacs profonds de la Suisse.

On ne peut nier pourtant que la couleur des eaux ne soit due souvent à des êtres organisés. Ainsi, M. Ehren-

berg, dans son voyage de 1825, reconnut que la mer Rouge était réellement rougie en certains endroits par une espèce particulière d'*oscillaria*. Hassenfratz retrouva la même couleur, due à une cause analogue, dans plusieurs lacs de l'Egypte (1). Les courans, qu'il serait quelquefois très-difficile de distinguer en pleine mer, se reconnaissent souvent à la teinte particulière de leurs eaux qui, étant d'un bleu intense, indique leur plus grande profondeur. La ligne qui les sépare des eaux stagnantes est parfois très-sensible et très-distincte.

DE LA PHOSPHORESCENCE DES EAUX.

Un phénomène des plus singuliers et des plus admirables est celui que nous présente la surface des eaux quand elle semble s'illuminer tout-à-coup sur une vaste étendue. C'est principalement dans les contrées chaudes du globe que ce spectacle apparaît dans toute sa magnificence, quoique cependant, sous toutes les zônes, même près des glaces polaires, la mer soit phosphorescente.

C'est surtout dans la mer des Indes qu'il se manifeste de la manière la plus frappante, notamment sur les côtes de Malabar, des Maldives et des autres îles voisines. On prétend même que, dans certains temps de l'année, la mer y paraît totalement enflammée.

On ne peut se lasser d'admirer la beauté de ce spectacle, qui cependant se renouvelle tous les soirs. Il se produit principalement dans les temps calmes, lorsque

---

(1) *Lettre à Gillet de Laumont*, *Journal des Mines*, t. XVII, p. 241.

la mer est couverte de rides ou d'ondes légères, car le mouvement semble nécessaire à l'émission de cette lueur phosphorique. Tous les navigateurs l'ont remarqué, et et tous en ont fait mention comme d'une chose qui les a vivement frappés.

Patrin rapporte qu'il a souvent observé cette phosphorescence, dans sa traversée de Saint-Pétersbourg en France.

« J'avais presque tous les soirs, pendant trois semaines, le spectacle d'une mer lumineuse. Pour observer de plus près ce phénomène, je me tenais à la proue du bâtiment qui, par la force du vent, plongeait presque dans la mer, de sorte que souvent je me trouvais au niveau des ondes, et je voyais distinctement une foule de globules de la grosseur d'un pois ou même d'une balle de pistolet, qui s'échappaient de l'écume bouillonnante, et roulaient avec célérité sur la surface des flots, comme des gouttes d'eau roulent sur un corps gras ou couvert de poussière. J'ai plusieurs fois attrapé plusieurs de ces globules avec une grande cuillère, et je les observais avec une forte loupe; mais je n'ai jamais aperçu qu'une matière onctueuse, qui devenait phosphorique quand je la frottais entre mes doigts dans l'obscurité. »

« Celui même qui n'a point été témoin de ce phénomène dans la zône torride, et surtout sur le grand Océan, ne peut, dit M. de Humboldt, se faire qu'une idée imparfaite de la majesté d'un si grand spectacle. Quand un vaisseau de guerre, poussé par un vent frais, fend les flots écumeux, et qu'on se tient près des haubans, on ne peut se rassasier du coup-d'œil que présente le choc des vagues. Chaque fois que, dans le mouvement du roulis, le flanc du vaisseau sort hors de l'eau, des flammes rougeâtres, semblables à des éclairs, paraissent sortir de la quille et s'élancer vers la surface de la mer. »

Ce savant ajoute qu'en se baignant le soir dans le golfe de Curiaco, près de Cumana, quelques parties de son corps restaient lumineuses, comme si des corps phosphoriques s'y étaient attachés (1).

MM. Quoy et Gaymard, qui ont publié un mémoire très-intéressant sur cet objet, ont observé très-fréquemment cette illumination des eaux. A peine le jour a-t-il disparu que la scène commence, et des millions de corps lumineux semblent rouler au milieu des flots. L'intensité de lumière augmente sur la crête des vagues, sur les flancs du vaisseau ou des rochers, contre lesquels la lame vient se briser; chaque coup de rame fait jaillir des jets de lumière, et le navire qui fuit, laisse au loin derrière lui un long sillon de feu, dont l'intensité s'affaiblit à mesure qu'il s'éloigne.

MM. Becquerel et Brechet ont aussi observé avec soin cette phosphorescence sur la Brenta, rivière qui vient se jeter dans la mer près de Venise, et dont les eaux, à quelques milles de cette ville, jouissent de la propriété, dans les grandes chaleurs, quand elles sont ébranlées par le plus léger choc, de devenir fortement lumineuses. L'effet peut être comparé, sans exagération, à celui que produit un bol de punch enflammé que l'on agite avec une spatule. Le corps le plus léger que l'on jette dans l'eau suffit pour faire naître la lumière, non-seulement dans le point frappé, mais encore dans toutes les ondes provenant de l'ébranlement du liquide. Il en résulte que dans l'obscurité la plus profonde, on peut suivre de très-loin toutes les ondes liquides. Cette faculté lumineuse diminue à mesure que l'on approche du bras de mer

(1) *Tableaux de la nature*, t. I, p. 82.

qui sépare Venise de l'embouchure de la Brenta, et il arrive un point où elle n'est plus sensible (1).

On attribue en général la *lumière des mers* à la présence d'une infinité de petits animaux lumineux qui se meuvent rapidement à la surface des flots; mais il est probable que les matières organiques, à demi altérées, qui doivent exister en abondance dans la mer, et qui viennent flotter à la surface, sont aussi une des causes principales de ces singuliers effets. Les animaux marins ont tous une tendance à devenir phosphoriques quand ils sont morts; les poissons le deviennent bientôt après qu'ils ont cessé de vivre, et cette matière phosphorescente en dissolution dans l'eau, peut certainement lui communiquer ses propriétés.

MM. Quoy et Gaymard ont observé des exemples qui peuvent appuyer ces deux suppositions. Étant mouillés dans la petite île de Rawak, placée sous l'équateur, ils virent un soir sur l'eau des lignes d'une blancheur éclatante; en les traversant avec leurs canots, ils voulurent en enlever une partie, mais ils ne trouvèrent qu'un fluide dont la lueur disparut entre leurs doigts. Peu de temps après, pendant la nuit, et la mer étant calme, ils virent près du vaisseau beaucoup de zônes semblables, blanches et fixes. Les ayant examinées avec soin, ils reconnurent qu'elles étaient produites par des zoophytes d'une petitesse extrême, et qui renfermaient en eux un principe de phosphorescence si subtil et tellement susceptible d'expansion, qu'en nageant avec vîtesse et en zig-zag, ils laissaient sur la mer de longues traînées lumineuses. Ils mirent le fait hors de doute, en

---

(1) Becquerel, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV, p. 76.

plaçant dans un bocal rempli d'eau deux de ces animalcules, qui rendirent immédiatement toute l'eau lumineuse. Ils ont constaté en outre que la chaleur est une des causes déterminantes de la faculté lumineuse de ces petits animalcules, comme elle l'est en été dans nos climats pour les lampyres ou vers luisans de nos buissons (1).

M. Becquerel pense aussi qu'indépendamment de la présence des corps vivans, la phosphorescence de la mer peut être due à une matière organique, entièrement combinée ou mélangée avec l'eau, analogue à celle qui recouvre les harengs et autres poissons de mer, quand ils sont phosphoriques. Ses observations sur les eaux de la Brenta le prouvent suffisamment; car il n'y a qu'une matière intimement combinée ou mélangée avec elles qui puisse produire un semblable effet, puisque toutes les parties de l'eau, sans exception, possèdent la faculté lumineuse. Ce savant croit que les matières organiques qui se trouvent dans l'eau stagnante de la rivière, sont dans un état particulier de décomposition à la suite de la chaleur du jour, qui leur donne la faculté lumineuse (2). La vase des marais, toujours riche en matières à demi-décomposées, est aussi quelquefois phosphorescente.

---

(1) Quoy et Gaymard, *Annales des Sciences naturelles*, t. IV, p. 12.

(2) Becquerel, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV, p. 76.

CHAPITRE TREIZIÈME.

DE L'EAU A L'ÉTAT SOLIDE.

On sait que la plupart des corps solides se liquéfient par la chaleur, et peuvent cristalliser en refroidissant. L'eau obéit à cette règle; mais comme sur notre planète la température est le plus souvent assez élevée pour maintenir l'eau sous forme liquide, il en résulte que c'est son état habituel, et nous considérons comme placée sous des conditions exceptionnelles celle que la soustraction de la chaleur a fait passer à l'état de glace. Il existe très-probablement des planètes dont tous les points sont doués d'une température trop élevée pour que ce liquide puisse jamais se solidifier. Il en est d'autres aussi à la surface desquelles l'eau liquide doit être inconnue; mais sur la terre, à l'époque actuelle de son existence, il y a passage presque continuel d'un état à l'autre, et nous verrons plus loin, en étudiant la température propre de notre globe, que toutes les apparences se réunissent pour nous prouver que l'eau solide n'a pas toujours existé, quoiqu'elle ait maintenant envahi les deux extrêmités de la terre.

On peut d'après cela diviser les glaces en deux séries, *permanentes* et *accidentelles*.

Nous allons d'abord nous occuper des dernières,

et nous distinguerons parmi les autres celles qui forment les glaciers des montagnes et ceux des pôles.

DES GLACES ACCIDENTELLES ET DE LA CRISTALLISATION DE L'EAU.

Comme la température intérieure du sol est toujours au-dessus de o du thermomètre, l'eau des sources ne gèle pas. Elle conserve au contraire un certaine chaleur qui bientôt rayonne dans l'atmosphère et la met en équilibre avec elle; mais l'eau stagnante exposée à la gelée, c'est-à-dire à une température qui est au-dessous de o, ne tarde pas de cristalliser.

On voit d'abord des aiguilles allongées qui partent des bords et qui s'avancent vers le milieu. Il est rare que ces aiguilles se rencontrent; elles s'arrêtent dans leur croissance avant de se toucher. De nouvelles aiguilles prennent naissance sur les premières, et forment avec elles des angles qui sont presque toujours de 60 ou de 120 degrés. D'autres aiguilles naissent encore sur ces dernières, et enfin la surface de l'eau est couverte d'une pellicule glacée d'une transparence extrême, qui n'est cependant pas entièrement solide, car les parties dont elle est formée ne tiennent entr'elles que par leurs bases, toutes les extrémités sont libres et séparées par une légère couche d'eau.

Bientôt les mêmes phénomènes se reproduisent en dessous de cette première couche, et comme les nouveaux cristaux, quoique immédiatement appliqués sous les autres, ne suivent pas leurs dimensions, il en résulte que les aiguilles viennent traverser les points non solidifiés qui existent à la rencontre des pointemens des premiers cristaux. Une troisième couche se forme

sous la seconde, puis une quatrième, et ainsi de suite, de sorte que la glace, à mesure qu'elle épaissit, devient de plus en plus solide par la juxta-position de feuillets cristallisés dont les fissures se contrarient, mais dont les cristaux ne se croisent ni ne se feutrent, comme on pourrait le supposer. Il est difficile de suivre cette cristallisation quand elle se fait, mais on distingue facilement l'arrangement des cristaux, quand la glace fond à la surface par l'action d'un vent chaud. La structure de certaines variétés de glaces est alors mise à nu comme celle de certaines roches dont les surfaces sont restées longtemps exposées à l'influence des agens atmosphériques. La glace est ordinairement transparente, et à tel point, qu'on peut en frabriquer des lentilles qui allument parfaitement l'amadou et d'autres corps; mais elle n'offre ce caractère qu'autant qu'elle s'est formée sur une surface liquide dont elle n'a pas été séparée par de l'air; car, dans ce cas, la cristallisation ne s'opère plus de la même manière; une petite couche d'air s'interpose entre chaque couche d'aiguilles cristallisées, et quoique la glace soit parfaitement unie, quoiqu'elle ne soit pas le résultat d'une cristallisation confuse, comme cela arrive souvent, elle est tout-à-fait opaque. On trouve fréquemment des exemples de cette disposition dans les fossés qui sont le long des routes, parce que la glace a d'abord commencé de se former sur l'eau, et que celle-ci s'est peu à peu retirée en s'infiltrant dans le terrain. Quelquefois même on pourrait compter le nombre de couches dont se compose la glace, qui ayant pris une forme concave ou convexe, selon l'étendue et la nature des bords, présente des zônes concentriques plus ou moins transparentes, et quelquefois tout-à-fait opaques. S'il existe une certaine distance entre la surface de l'eau et celle de la glace,

il se forme une petite quantité de vapeurs qui vient cristalliser sur la dernière couche, en aiguilles qui font avec elles un angle droit; car tous les petits cristaux ont leur axe dirigé vers la surface du liquide.

Dans certaines circonstances qu'il est bien difficile de déterminer, mais que je crois pourtant pouvoir rapporter à quelques cas de matières étrangères et terreuses tenues en suspension, l'eau cristallise d'une manière tout-à-fait différente. La surface de l'eau offre d'abord une infinité de petits points brillans qui se touchent et se joignent très-exactement sans se souder. Chacun de ces points s'allonge en dessous, et au bout d'un certain temps il en résulte une glace très-épaisse, mais qui présente peu de solidité. Elle est formée d'une infinité de petits prismes hexagonaux, serrés les uns contre les autres, qui lui donnent une structure fibreuse tout-à-fait semblable à certaines variétés de gypse d'Angleterre. (*Fig.* V.) Au moindre dégel, comme la chaleur augmente la densité de l'eau et contracte par conséquent chaque cristal prismatique, la glace se divise perpendiculairement à sa surface en une infinité de petits faisceaux qui se subdivisent encore, et au bout de quelque temps elle a disparu. En cristallisant ainsi, la glace est toujours parfaitement pure, car les matières terreuses qui s'y trouvent en suspension et qui vraisemblablement déterminent cette forme, se précipitent ou salissent tout au plus sa surface inférieure. Dans cet état prismatique, la glace présente une grande flexibilité, et je ne suis pas le seul qui ait remarqué ce caractère, car M. Meissas l'a aussi observé plusieurs fois sur les bords de la Loire (1).

---

(1) « Plusieurs personnes ont déjà remarqué que l'eau cristallise

La glace augmente continuellement en épaisseur quand la température est assez basse ; le froid semble y pénétrer par une sorte de cémentation, ou, pour parler plus exactement, la chaleur s'échappe en rayonnant de la surface de l'eau encore liquide que sa moindre pesanteur amène continuellement sous la couche de glace déjà formée.

Ces considérations tendraient à faire admettre le prisme hexagonal pour la forme primitive de l'eau, d'autant plus que cette idée est fortement appuyée par les intéressantes observations de M. de Thury dans la caverne de Fondeurle. Voici comment il s'exprime à cet égard :

« Une des cavernes de ce singulier plateau nous présenta un phénomène pour le moins aussi curieux que ce site, et encore peu connu. Cette caverne, dite la Glacière, a deux grandes ouvertures, l'une à l'est, et l'autre à l'ouest; elle descend au nord par une pente rapide et va probablement rejoindre d'autres cavités souterraines inférieures qu'on entend résonner sous les pieds, mais dans lesquelles nous ne pûmes pénétrer:

---

en prismes à 6 pans. J'ai trouvé plusieurs fois, moi-même, sur les bords de la Loire, auprès d'Orléans, des masses de glace assez considérables et composées en grande partie de baguettes prismatiques de $0^m,001$ à $0^m,01$ de diamètre; fort peu de prismes paraissaient être à 6 pans réguliers, circonstance que l'on doit sans doute attribuer au groupement. Ayant pris un grand nombre de ces prismes les uns après les autres, et ayant diminué leurs dimensions latérales dans le sens de la longueur, j'ai observé que lorsque leur épaisseur était réduite à 1 ou 2 millimètres, la glace était rendue très-flexible, beaucoup plus flexible que le phosphore pur.....» (*Lettre de M. Meissas à l'Académie des sciences.* Institut, 3e année, p. 7.)

cette caverne a environ 60 mètres de profondeur, sa largeur est très-irrégulière; un rocher qui a plus de 20 mètres d'épaisseur lui sert de ciel; son intérieur est tapissé de belles stalactites calcaires, qui s'élèvent ou qui pointent à travers une nappe de glace de la plus grande limpidité. A la voûte de la caverne, on voit également pendre un grand nombre de stalactites de glace ces stalactites sont isolées dans le milieu de la caverne, tandis que celles d'albâtre sont appuyées contre ses parois et forment à leur surface les plis et replis d'une riche draperie. Une de ces colonnes de glace ayant été entamée par un de nos voyageurs, il plaça, à notre insu, dans son intérieur la lumière qu'il portait; au même instant, nous fûmes tous éblouis par l'effet magique et inattendu que produisait son éclat. La clarté la plusbrillante, les nuances variées, jaunes, bleues, vertes et rouges, la lumière réfléchie sur les nappes de glace, les colonnes d'albâtre, les grandes stalagmites qui tapisaient les parois et qui étaient éclairées par tant de reflets divers, furent long-temps le sujet de notre admiration; mais elle fut au comble quand ayant détaché quelques-unes de ces colonnes de stalactites de glace, nous nous aperçûmes qu'elles étaient vides, qu'elles formaient des géodes et que tout l'intérieur était tapisé de belles aiguilles parfaitement cristallisées. Ce phénomène nous fit apporter une plus grande attention sur la contexture de la nappe de glace sur laquelle nous marchions, et nous vîmes avec autant de surprise que de satisfaction qu'elle était entièrement composée de parties cristallisées de la plus grande limpidité, présentant, pour la plupart, des prismes hexaèdres dont la surface terminale offrait des stries parallèles aux faces du prisme, tandis que les cristaux de l'intérieur des stalactites étaient, les uns des prismes triangulaires

et les autres des prismes hexaèdres, dont quelques-uns offraient également des stries sur la face terminale, et dont plusieurs, qui avaient jusqu'à 5 millimètres de diamètre, se présentaient avec des facettes qui remplaçaient les arêtes terminales de la jonction de la base du prisme. Quelques scrupuleuses qu'aient été nos recherches, nous n'avons pu découvrir aucune pyramide complète.

» Après avoir bien constaté la cristallisation de la nappe de glace et celle de l'intérieur de ces belles stalactites, nous réitérâmes notre illumination en variant et plaçant nos lumières dans les parties les plus limpides et les mieux cristallisées, et nous eûmes la satisfaction de produire dans les ruines des cavernes du désert de Fondeurle un effet digne de tout ce que la magie des palais des *Mille et une Nuits* peut présenter de plus riche et de plus brillant à l'imagination

» Cette belle et intéressante caverne est connue dans le pays sous le nom de Glacière de Fondeure; on y exploite la nappe de glace pour les villes voisines, elle se transporte même jusqu'à Valence, qui est à plus de deux lieues de distance (1). »

Malgré ces différens faits, quelques savans croient que la forme primitive de l'eau est un rhombèdre. Ils s'appuient principalement sur une curieuse observation du docteur Clarke.

Le 3 janvier 1821, la température de l'air n'étant que de —0,5, M. Clarke aperçut à Cambridge au-dessous d'un pont en bois, des glaçons pendans qu'atteignait

(1) Extrait d'un voyage minéralogique, manuscrit, fait en 1805, dans la grande chaîne calcaire subalpine des régions sud-est de la France, par M. Héricart de Thury. *Journal des mines*, n° 194, p. 157.

constamment le brouillard formé par une chute d'eau voisine. Plusieurs de ces masses ayant été détachées, M. Clarke reconnut qu'elles se composaient en général de cristaux rhomboïdaux parfaits, ayant des angles obtus de 120° et des angles aigus de 60°; plusieurs de ces cristaux avaient plus d'un pouce de longueur. Le 6 janvier, le thermomètre s'étant élevé jusqu'à +3° 19, le dégel eut lieu, et néanmoins les cristaux, durant leur fusion, conservèrent toujours leur figure rhomboïdale; ce qui prouve que cette figure est la forme primitive, et que les prismes hexaèdres observés par M. de Thury à Fondeurle, n'étaient que des cristaux secondaires (1).

La glace ne se présente pas seulement à la surface de l'eau, on la rencontre encore sur la terre, où elle cristallise d'une manière très-singulière. Nous avons souvent observé ces cristaux dans les montagnes d'Auvergne; mais Desmarets les avait rencontrés bien avant nous dans les mêmes lieux, ainsi que dans le Velay, le Vivarais, le Forez, les environs d'Annonay, etc., et en général dans tous les pays de granites en décomposition, et même dans les pays volcaniques, en France et dans les environs de Rome, mais jamais dans les pays calcaires et à couches horizontales ou inclinées.

Desmarets rapporte qu'il remarqua pour la première fois cette végétation en 1763, à quelques lieues de Limoges, en revenant à Paris, par un froid de 4° au-dessous de 0, après quelques jours de pluie. La grande route était couverte d'une croûte assez épaisse, qu'il prit d'abord pour de la boue; mais étant descendu de cheval, il observa avec surprise, dans les trous faits dans cette croûte par les pieds de son cheval, une couche de glace com-

---

(1) *Transactions de la Société de Cambridge.*

posée d'un nombre infini de filets limpides, parallèles, adhérens assez fortement entre eux, ayant une forme prismatique assez marquée qu'il compare aux filets de gypse, excepté que ceux de la glace sont plus distincts. La longueur de ces filets variait d'une place à une autre depuis un demi-pouce jusqu'à deux; ils étaient fort courts lorsque la terre approchait davantage de la nature du sable, et plus longs lorsqu'elle était formée d'un mélange de sable et de terre argileuse imbibée d'eau en certaines parties. La superficie de ces croûtes de glace offrait un grand nombre de gerçures qui formaient des prismes hexagones dont la base avait environ 2 pouces de diamètre. Quelques-uns de ces prismes étaient encore divisés en d'autres prismes moins réguliers. Ils étaient toujours perpendiculaires au plan du terrain où ils avaient été formés, malgré l'inclinaison des talus, quelquefois de 45°. Desmarets les trouva encore sur les terres voisines cultivées, comme sur la route elle-même, pendant un espace de huit lieues, toujours au milieu des terres végétales, visiblement dues à la destruction des granites; et quoique le froid se soutînt au même degré, il n'en vit plus entre Argenton, Châteauroux et Orléans: il n'en put trouver autour de Paris.

Ce savant observateur a suivi ce phénomène chaque hiver en Limousin, depuis 1763 jusqu'en 1770, et il a remarqué qu'il avait lieu dans les endroits couverts d'une certaine quantité de terre végétale, et manquait où le sol ne présentait que des rochers de granites, de schistes durs et solides, ou de gros sables; il n'y a remarqué alors que des couches de givre et de glace informe.

Desmarets n'a trouvé des filets de glace à la surface de la terre, par couches suivies et continues, qu'à la suite de pluies abondantes et soutenues pendant plu-

sieurs jours; l'épaisseur était d'autant plus grande, que celle des terres qui recouvraient le sol était plus considérable et que le froid avait pris plus brusquement. Les couches prenaient successivement de l'accroissement pendant trois ou quatre jours seulement et n'éprouvaient plus d'augmentation, quoique le froid continuât; l'accroissement se faisait toujours par la partie inférieure qui touchait la terre imbibée d'eau, de manière que ce qui était formé la veille se trouvait soulevé par ce qui se formait le lendemain, et d'une quantité égale aux additions, qui diminuaient sensiblement chaque jour en hauteur : lorsque le froid restait le même, les épaisseurs restaient égales; elles n'étaient pas distinctes les unes des autres et les filets se correspondaient : si le froid s'adoucissait pendant le jour, les produits de chaque reprise de froid pendant la nuit se trouvaient séparés par des intervalles remplis de terre ou de glace informe, et les filets prismatiques de glace ne se raccordaient plus d'une addition à l'autre; faits absolument analogues à ceux que l'auteur avait observés dans les glaçons spongieux qui se forment au milieu des sables du fond des rivières. (V. *Journal de Physique*, janvier 1783.) Dès que ces couches n'augmentaient plus, elles commençaient à diminuer; on y voyait des gerçures qui les partageaient en diverses portions prismatiques; les petits prismes se détachaient les uns des autres, s'arrondissaient en se décomposant, et ne représentaient plus qu'un assemblage de petits filons d'une grande ténacité, qui disparaissaient successivement les uns après les autres (1).

Depuis les observations de Desmarets, M. Clère a

---

(1) *Journal de Physique*, mars 1783.

observé, près de Mézières, une disposition de la glace tout-à-fait semblable à celle que ce savant a fait connaître le premier.

Les pentes de plusieurs collines semblaient couvertes de longues efflorescences qui tombaient et se renouvelaient ensuite. Ces efflorescences offraient à l'œil des assemblages continus de petits faisceaux de glace composés de cylindres cannelés et fibreux qui se surmontaient parallèlement entr'eux, de manière pourtant à indiquer des lignes distinctes de séparation, espacées en hauteur à des distances variables, mais dont la plus grande ne lui a pas semblé dépasser 2 décimètres $\frac{1}{2}$, *maximum* de la longueur des cylindres, qui presque toujours diminuent en retraite à chaque rangée, et parfois aussi en hauteur pour les rangées supérieures. Entre la ligne de jonction qui séparait les deux rangées inférieures, il a observé une couche peu épaisse d'argile glaise, jaunâtre, congelée, servant pour ainsi dire de pâte à un grand nombre de cailloux roulés, depuis la grosseur d'une noisette jusqu'à celle du poing. Plus haut, dans d'autres endroits, on voyait quelques-uns de ces cailloux renfermés sans ciment entre deux assises du massif cristallin, où ils paraissaient avoir été portés par une force ascensionnelle qui les aurait soulevés au moment de la formation des faisceaux qui les supportaient, et sans doute par la même cause qui les avait déjà primitivement enlevés de terre.

Ces efflorescences de glace lui ont paru affecter toutes sortes de positions, depuis la verticale jusqu'à l'horizontale, selon la disposition naturelle du sol, qui presque généralement formait alors des angles droits avec les faisceaux de tubes de glace (1).

(1) *Annales des Mines*, t. VII, p. 16.

Cette glace fibreuse qui sort du sol dans les montagnes à surface meuble, peut aussi se former dans d'autres circonstances. Patrin en a observé dans une mine de la Daourie.

« Ce qui m'avait, dit-il, principalement attiré dans cette caverne, c'était la curiosité de voir la congélation de la voûte, que l'on m'avait dit être de la plus grande beauté, et que je trouvai en effet d'un éclat éblouissant : c'étaient de longs festons de glaces presqu'aussi légères que des bulles de savon, formées d'un assemblage de *tubes hexaèdres* qui s'épanouissaient à leur extrémité et présentaient des pyramides creuses. Cette glace, légère et papyracée, était produite par les vapeurs qui s'élevaient du fond de la grotte au commencement de l'hiver, où la température était sensiblement plus chaude que dans le moment où je m'y trouvais (1). » (*Fig*. VI.)

M. Cordier a fait une observation semblable dans les Pyrénées à une grande élévation sur la Maladetta.

« A l'aide de nos crampons, nous avançâmes vîte et sans difficulté vers le fond de l'enceinte. Le grain de la glace était successivement devenu plus tendre et plus fin ; sa surface, frappée des rayons du soleil, éblouissait par un éclat vif autant que par sa blancheur. Cette apparence extraordinaire s'étant accrue, j'en cherchai la cause, et je fus très-surpris en découvrant qu'elle était produite par une multitude de prismes hexaèdres de glace, ou, si on veut, d'eau cristallisée. Ces prismes groupés, tantôt confusément, tantôt en petites houppes, étaient parfaitement réguliers. Leur longueur allait souvent jusqu'à 4 millimètres sur 1 d'épaisseur. Nous étions alors un peu plus haut que 3100^{m}. A la manière

(1) *Journal de Physique*, mars 1791, p. 232 et 236.

dont les prismes sont attachés, on ne saurait douter qu'ils n'aient été formés en place. Or, si on se rappelle les expériences de Saussure sur la température des neiges et des glaces très-élevées, on pourra attribuer ce phénomène à une condensation lente des vapeurs aqueuses opérées seulement à la surface du glacier, pendant un état de calme dans l'atmosphère. Au reste, si cette découverte nous dédommageait de nos fatigues, le succès incomplet que nous allions obtenir fut plus qu'acheté par les difficultés du trajet qui restait à faire. »

Il est bien rare que la glace qui se forme à la surface du sol persiste long-temps; car, dans nos climats, la gelée ne pénètre guère, pendant les plus grands froids, au delà de 65 centimètres (environ 2 pieds); mais il n'en est pas de même dans le Nord. En Russie, la gelée descend à trois mètres, et dans plusieurs parties de la Sibérie la terre reste glacée à six pieds de profondeur. M. Hedenstrom dit que le sol mis à découvert sur plusieurs points de cette contrée, dans les escarpemens des lacs et des lits de rivières, est composé de terres et de couches de glace alternant horizontalement et traversées par des filons verticaux d'une glace plus récente (1), en sorte que l'eau occupe la place d'une roche solide et permanente.

Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupés que de la formation de la glace sur le sol ou à la surface des eaux dormantes, mais on sait qu'il s'en forme aussi dans les eaux courantes, lors même qu'elles ont une certaine vîtesse.

Si une rivière n'est pas très-rapide, elle se congèle assez facilement, et c'est ordinairement sur les bords

---

(1) *Observations sur la Sibérie.*

que la glace commence à se former. Sa cristallisation s'opère comme sur les eaux stagnantes, mais avec moins de régularité et de promptitude, et presque toujours la glace formée est plus mince au milieu que sur les bords. Le contraire a souvent lieu dans le dégel; les bords s'amincissent, se détachent et permettent à la débâcle de s'opérer plus promptement.

En général, la congélation plus ou moins prompte d'un cours d'eau dépend de différentes circonstances qui peuvent se neutraliser en partie ou agir toutes en même temps. L'intensité du froid, sa durée, la vîtesse des eaux et leur hauteur plus ou moins grande, l'état du ciel qui favorise ou détruit le rayonnement, sont les principales causes qui modifient les effets de la gelée.

Le froid le plus vif n'est pas toujours celui qui produit le plus tôt la congélation des rivières. M. Arago pense que le rayonnement y contribue pour le moins autant. « C'est ainsi, dit-il, qu'en décembre 1762, la Seine fut totalement prise à la suite de six jours de gelée, dont la température moyenne était de — 3°,9, et sans que le plus grand froid eût dépassé — 9°,7, tandis qu'en 1748 la rivière coulait encore après huit jours d'une température moyenne de — 4°,5, le plus grand froid, dans cet intervalle, s'étant déjà élevé jusqu'à — 12°. Cependant la hauteur des eaux, au-dessus du pont de la Tournelle, et cette hauteur, dans chaque rivière, règle constamment la vîtesse, était la même aux deux époques. On ne peut guère expliquer cette anomalie, qu'en examinant si les circonstances atmosphériques étaient les mêmes en 1762 et en 1748, et on verra que le thermomètre en plein air n'indique pas toujours exactement la température des corps solides et liquides placés à la surface du globe. En effet, en

1762, les six jours qui précédèrent la congélation totale de la rivière furent parfaitement sereins, tandis qu'en 1748, le ciel était ou nuageux ou totalement couvert. Or, en ajoutant 10 à 12° comme effet du rayonnement de l'eau vers le ciel, au froid indiqué en 1762, on trouvera que, malgré l'indication du thermomètre, l'eau, dans cette année, a éprouvé, à la surface du moins, un froid beaucoup plus vif qu'en 1748, et de là toute contradiction disparaît.

En 1773, la Seine charriait, le 6 février, après cinq jours de gelée, dont la température moyenne fut de — 6° centigrades et la température extrême de — 10°,6. En 1776, les glaçons flottans ne parurent que le 19 janvier, quoiqu'il gelât depuis le 9, et que, du 15 au 19 exclusivement, la température moyenne eût été de —8°,3 centigrades, et la température extrême de — 13°,1. La hauteur des eaux n'expliquerait pas le phénomène; car en 1776 elle était de 4 pieds $\frac{1}{2}$, tandis qu'en 1673 elle s'élevait à 8 pieds. Restent donc les circonstances atmosphériques. Or, les 3, 4, 5 et 6 février furent des jours presque constamment sereins en 1773. Dans l'année 1776, au contraire, du 9 au 19 janvier, le ciel ne se découvrit que pendant peu d'instans. Le rayonnement nocturne est donc ici encore la seule cause qui puisse expliquer comment il est arrivé que, malgré une plus grande hauteur des eaux et un moindre froid de l'atmosphère, la Seine se soit plus facilement gelée en 1773 qu'en 1776 (1).

La vîtesse des eaux, lorsqu'elle est grande et que celles-ci sont peu profondes, ne permet qu'une congélation partielle et fort singulière qui s'opère au fond

---

(1) *Annuaire du bureau des longitudes*, 1828.

de l'eau. La glace qui s'y attache diffère beaucoup de celle qui prend naissance à la surface. Elle est en masses mamelonnées ou hérissées de cristaux, mais toujours très-irrégulières et semblables à de petits pelotons de neige, qui se seraient précipités à demi fondus et se seraient groupés de différentes manières. Elle s'attache de préférence aux corps saillans dans le lit des ruisseaux et semble se comporter alors comme les cristaux de la plupart des sels, qui cherchent, pour se fixer, tout ce qui se présente en saillies dans les bassins où se trouvent leurs dissolutions concentrées. Les rivières, et surtout celles dont les eaux sont limpides, sont quelquefois encombrées par ces sortes de glaces qui tout à coup se détachent si la température vient à s'adoucir, et disparaissent entraînées ou fondues par le courant. On voit même quelquefois, dans les mêmes eaux, la glace se former tantôt à la surface et tantôt au fond. M. Farquharson, qui s'est beaucoup occupé de cette espèce de glace, l'attribue aux variations qui surviennent dans le rayonnement du fond des rivières, par suite de circonstances très-diverses. Il imagine que quand ce rayonnement a lieu par les matériaux solides et opaques du fond de la rivière, à travers la couche d'eau transparente, la congélation s'opère sur la portion du fluide refroidie déjà au point de geler, et en contact immédiat avec le corps qui émet son calorique. Les circonstances qui contribuent à cet effet, en favorisant l'émission, sont principalement un ciel très-serein, une grande transparence des eaux, l'abaissement de la température du fond qui peut être plus rapide que celle de l'eau qui coule dessus, enfin la persistance de la glace à rester attachée au fond tant que le calorique fourni par les couches inférieures solides est ainsi dissipé par le rayonnement.

« Il y a toutefois encore, dit M. Farquharson, un point important à éclaircir. Pourquoi la formation de cette glace n'a-t-elle pas lieu dans une eau tranquille plutôt que dans l'eau courante, puisque le rayonnement paraît plus facile dans la première que dans la seconde? A cela il répond que dans une eau tranquille, l'ordre hydrostatique que M. Arago a démontré comme étant un état des eaux dans les cas ordinaires à la température de 4°,6, a toute liberté pour s'établir et n'est pas troublé par l'action mécanique du courant. Quand la température d'un corps fluide, en effet, est au-dessous de la température générale, par le contact avec des matières solides, refroidies elles-mêmes par rayonnement, il est déplacé par le liquide plus pesant et plus chaud qui se trouve au-dessus. La glace se forme donc, dans ce cas, à la surface, tant par le concours du froid provenant du rayonnement, que par celui que produit le contact de l'air froid superposé. Dans les courans, l'ordre hydrostatique est renversé, et l'eau la plus froide et qui est en même temps la plus légère ne se mêle plus avec celle du fond, qui est plus chaude; mais dans les endroits tournoyans du courant, elle est amenée tout-à-coup, sans se mêler, en contact direct avec le fond, refroidi déjà à une température de 0°; elle ne peut communiquer aucune portion de chaleur au fond sans qu'une portion se convertisse en glace, dont les aiguilles et les cristaux s'attachent aux corps solides et aux points mêmes auxquels ils ont cédé en partie leur chaleur (1). »

Le mouvement dont l'eau est douée communique aussi à la glace une structure très-singulière, c'est la

---

(1) *Edimburg new philosophic. Magazine.*

structure testacée qu'elle présente dans la congélation des cascades et dans la formation des stalactites. Dans le premier cas, l'eau violemment ébranlée, abandonne une grande quantité de vapeurs, qui tend à se précipiter et à cristalliser régulièrement autour des plantes, des rochers et sur tous les corps saillans qu'elle peut rencontrer. La cristallisation est alors celle du givre; ce sont des cristaux aciculaires, dont le grand axe est perpendiculaire au support. Mais dans les lieux où l'eau tombe, elle jaillit et s'écarte en gouttelettes nombreuses, qui se solidifient dès qu'elles rencontrent un support. Toutes ces gouttelletes se superposent et forment autant d'écailles glacées, placées en imbrication les unes sur les autres; ce qui donne à la masse une solidité extrême. A peine si l'on peut briser les glaçons, qui se font ainsi à la manière des stalagmites aux environs des cascades. Si le froid continue, les masses d'eau glacée s'élèvent, s'étendent, se ramifient quelquefois, puis se réunissent en longues colonnes torses qui s'élèvent du sol et vont à la rencontre de la chute. Il est difficile de voir quelque chose de plus pittoresque que les festons glacés qui décorent les cascades quand elles n'ont plus la parure des végétaux. Malgré la densité de ces écailles glacées, on reconnaît qu'elles sont formées de glace fibreuse, dont les fibres sont de longueur inégale et convergent toutes vers un centre. On peut considérer chacune de ces plaques convexes comme une portion de sphère, dont la courbure prolongée donnerait la circonférence, c'est-à-dire comme un arc de cercle. Il arrive souvent qu'on ne peut même au dégel reconnaître la structure fibreuse de ces écailles. (*Fig.* VII.)

Les stalactites, bien loin d'avoir la solidité de la glace des cascades ou des stalagmites, se brisent avec la plus grande facilité, et l'on peut presque toujours distinguer

leur structure. Elles s'accroissent comme des plantes dont l'extrêmité croissante serait dirigée vers la terre. Elles sont composées de couches superposées, dont la dernière est presque toujours la plus nouvelle et forme la pointe des glaçons, en sorte que si les couches étaient distinctes, comme elles le sont dans quelques circonstances, on verrait que leur nombre assez grand vers la base ou le point d'attache, diminue à mesure qu'on approche de l'extrêmité, et que la stalactite est formée par un nombre indéterminé de cônes transparens qui s'emboitent avec exactitude. La glace qui les forme est toujours fibreuse, et ses fibres sont perpendiculaires à l'axe central, ce qui permet de concevoir la facilité avec laquelle on peut les briser en travers, c'est-à-dire dans le sens du clivage et de la juxta-position de leurs cristaux. (*Fig.* VIII.)

L'eau douce gèle beaucoup plus facilement que l'eau salée, cependant celle-ci se congèle quand le froid est assez intense. Ainsi le lac Baikal se couvre de glace vers la fin de novembre, plus d'un mois après que toutes les rivières du pays sont arrêtées. Il dégèle aussi un mois plus tard. Patrin rapporte qu'il se trouva sur la glace vers la fin d'avril; ce ne fut pas, dit-il, sans quelque danger. « Le long de sa rive orientale où l'eau est basse à cause des atterrissemens qui y sont apportés par la Selenga et par d'autres rivières, il était dégelé à une grande distance; je fis près d'une lieue en bateau pour atteindre la glace; je trouvai ensuite des fentes considérables qu'on eut assez de peine à faire franchir à mes voitures, malgré les longues et fortes planches dont j'étais pourvu. »

« Quand j'approchai de sa rive occidentale, où l'eau est profonde, et qui est bornée de hautes montagnes, je trouvai la glace moins mauvaise, à l'exception d'un

grand nombre d'ouvertures qui ont depuis 10 jusqu'à 30 et 40 pieds de diamètre, et qui sont occasionnées par des sources chaudes et où l'eau ne gèle jamais, quelque froid qu'il fasse, lors même qu'il atteint 35 ou 40 degrés. »

L'eau qui résulte de la fonte des glaces qui se sont formées sur l'eau salée, est presque toujours douce ou du moins contient très-peu de sel, mais cette glace est toujours bien plus fragile que la glace ordinaire. Cette dernière acquiert une grande densité dans les pays du Nord, et elle résiste aux efforts les plus violens.

Voici ce que Meiran rapporte à ce sujet :

« Pendant l'hiver de 1740, on construisit à St-Pétersbourg, suivant les règles de la plus élégante architecture, un palais de glace de 52 pieds et demi de longueur sur 16 pieds et demi de largeur et 20 pieds de hauteur, sans que le poids des parties supérieures et du comble, qui étaient aussi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Newa, rivière voisine, où la glace avait environ 2 ou 3 pieds d'épaisseur, en avait fourni les matériaux. Pour en augmenter la merveille, on plaça au-devant du bâtiment six canons de glace avec leurs affûts de la même matière, et deux mortiers à bombes dans les mêmes proportions que ceux de fonte. Ces pièces étaient du calibre de celles qui portent ordinairement trois livres de poudre; on ne leur en donna cependant qu'un quarteron, et on les tira. Le boulet d'une de ces pièces perça, à soixante pas, une planche de 2 pouces d'épaisseur. Le canon, dont l'épaisseur était au plus de 4 pouces, n'éclata pas par cette explosion. »

La glace des glaciers, que nous allons étudier, est loin de présenter les mêmes caractères et surtout la même solidité.

DES GLACIERS.

Quand la neige tombe en gros flocons, elle occupe un espace dix fois plus considérable que l'eau qui résulterait de sa liquéfaction. Si elle tombe en paillettes fines, elle tient moitié moins de place. Cest sous cet état qu'elle descend le plus ordinairement dans tous les lieux élevés, sur toutes les hautes chaînes de montagnes où elle se tasse peu à peu, et acquiert alors une densité trois fois moindre que l'eau ordinaire, à cause des vides nombreux qui existent encore entre tous ses cristaux. De vastes amas d'eau glacée de cette nature prennent le nom de *champs de neige*, et occupent temporairement des espaces immenses dans les climats du Nord, et éternellement sur les hautes montagnes et près des pôles. Ils sont l'origine des *glaciers*, grands fleuves congelés qui partent des champs de neige, et qui descendent lentement dans les vallées des montagnes, suivant leur pente, comme le ferait une rivière, s'embranchant quand elles se divisent, et portant au loin les débris qu'ils ont arrachés aux aiguilles élancées qui les dominent. C'est un spectacle magnifique que celui de ces hautes régions, quand on jette les yeux pour la première fois sur ces mers de glaces, tant de fois décrites, et dont les descriptions ne peuvent jamais peindre les beautés. Rien ne peut représenter toutes ces formes bizarres où l'imagination voit partout des palais, des châteaux, des ruines et des obélisques, et se croit souvent transportée loin du globe que nous étudions; où l'artiste vient chercher ces effets de lumière inconnus aux habitans des plaines, ces teintes sombres et éclatantes à la fois, que réfléchissent mille fragmens aux contours bizarres et fantastiques; où le poète

enfin rencontre ces émotions puissantes que le vulgaire ne comprend pas, tandis que le philosophe vient méditer, au bruit des avalanches, sur l'avenir lointain de notre planète glacée. De larges crevasses partagent les glaciers, et présentent cette teinte d'un bleu céleste qu'offre une mer pure et profonde, que donne le ciel dans ces hautes régions, et que les glaciers eux-mêmes offrent de loin au voyageur.

L'épaisseur des glaciers est très-variable; elle dépend de leur étendue et de la pente de la vallée dans laquelle ils se sont épanchés. Le glacier des Bois offre une masse de 80 à 100 pieds de haut, mais certains amas de glaces ont une épaisseur bien plus grande.

Ils occupent généralement des vallées transversales, et rarement les grandes vallées parallèles aux chaînes de montagnes. Le glacier des Bois, près de Chamouni, a près de cinq lieues sans aucune interruption, sur une largeur variable, mais qui vers le haut est de plus d'une lieue. Celui de Grindelwald, qu'on regarde comme le grand réservoir des eaux du Rhône et du Rhin, a près de quinze lieues de longueur. Tantôt de larges crevasses ou des fentes moins profondes divisent en polyèdres toute la masse d'un glacier, d'autres fois la surface est unie et ne présente nul obstacle à celui qui veut le traverser. Rarement cette surface est glissante comme celle de la glace ordinaire, elle est plus souvent rude et grenue. Les glaciers n'atteignent jamais les plus hautes sommités des montagnes; celles-ci, presque toujours nues et décharnées, ont des pentes trop rapides pour que la neige puisse y séjourner. On y aperçoit bien de temps en temps des neiges éphémères; mais elles roulent en avalanches, et se dispersent en poussière au gré des vents. Les hauts plateaux eux-mêmes reçoivent la neige sans se couvrir de glace,

car la température est trop basse pour qu'elle puisse éprouver un commencement de fusion, et dès-lors elle reste sous forme de poussière ou de neige tassée. Cette observation a été faite par toutes les personnes qui ont atteint des sommités très-élevées. Ramond remarqua la même chose au sommet du Mont-Perdu.

« Le pic est couvert de neige, depuis le grand glacier jusqu'à sa cîme; mais vers le haut, l'épaisseur des neiges est peu considérable, parce que la forme tranchante du faîte de la montagne n'en souffre point l'accumulation. Au sommet, elles ne m'ont pas paru avoir plus de trois mètres de profondeur. Leur consistance est rare et légère, et elles ne recèlent que peu ou point de glace, attendu que les dégels sont ici de trop courte durée pour les imprégner d'eau, et que la petite quantité qui se forme durant les plus beaux jours de l'été s'écoule promptement le long des deux versans. Mais sur la pente septentrionale, ces mêmes neiges prennent peu à peu de la solidité, et se transforment bientôt en un vaste glacier, qui descend jusqu'au bord du lac, et dont la hauteur verticale est d'environ 800 mètres (1). »

En effet, l'origine des glaciers est due à la fonte partielle des neiges. Elles se ramollissent et s'imprègnent d'eau pendant les jours chauds de l'été, puis se congèlent pendant la nuit. Il en résulte une glace poreuse et légère, qui descend sous forme de courans bien au-delà des limites inférieures des neiges perpétuelles, et l'on voit quelquefois de grandes masses

(1) Ramond, *Voyage au mont Perdu. Journal des Mines*, t. XIV, p. 332.

de glaces ombragées par la végétation. La chaleur de l'été ne peut pénétrer d'aussi grands amas d'eau glacée. De nouvelles couches de neige arrivent à leur origine, et les compriment de tout leurs poids, en sorte qu'ils ont réellement une marche bien marquée, dont la vitesse semble augmenter et diminuer quelquefois. On a vu des glaciers envahir des vallées, s'étendre sur des prairies, engloutir des hameaux, et agir comme le font ces vastes courans de lave qui s'épanchent en bouillonnant au pied des cônes volcaniques. Tandis que le glacier augmente par une superposition de couches, il se détruit par son contact avec le sol. Abrité par des couches supérieures, il fond au contact de la terre, et produit ainsi sur son long trajet un ruissseau d'eau froide qui se fait jour à son extrêmité, et creuse souvent à son point de sortie des grottes à parois transparentes, et semblables à du cristal. Là des éboulemens s'opèrent, des fragmens de glace se détachent et réfléchissent les nuances délicates des fleurs qui leur disputent le sol de la vallée.

Les glaciers augmentent donc d'un côté et se détruisent de l'autre. L'évaporation agit à leur surface ; leur poids les entraîne dans les lieux bas où la chaleur est plus forte. C'est ainsi que dans la vallée de Chamouni on voit descendre le glacier des Buissons, ceux des Bois et de l'Argentière, qui emmènent avec eux les témoins du chemin qu'ils ont parcouru.

En effet, tous les grands glacier ont à leur extrêmité inférieure et le long de leurs bords de grands amas de sable et de débris produits par les éboulemens des montagnes qui les dominent. Souvent même les *glaciers* sont encaissés dans toute leur longueur par des espèces de parapets composés de ces mêmes débris, que les glaces latérales de ces *glaciers* ont déposés sur leurs bords.

On nomme ces monceaux de débris la *moraine* du glacier.

Les pierres dont l'entassement forme ces parapets, sont, pour la plupart, arrondies par le frottement qu'elles éprouvent contre le fond ou les bords des glaciers. Quant à leur nature, celles que l'on trouve à leur extrêmité supérieure, sont des mêmes genres de roche que les montagnes qui les dominent ; mais comme les glaces les entraînent vers le fond des vallées, elles arrivent entre des montagnes dont la nature est entièrement différente de la leur. En cela, les glaciers agissent comme les cours d'eau qui ont une forte pente. Ils usent leur lit, en arrachent des débris, et les déposent sur des plans moins inclinés. On trouve quelquefois plusieurs moraines distinctes qui sont parallèles aux bords du *glacier*, et l'on voit souvent plusieurs de ces lignes séparées par des bandes de glaces arides et pures. Ces amas de débris s'élèvent parfois de trente à quarante pieds au-dessus de la surface du glacier, tant par la quantité de pierres qui les composent, que par les glaces mêmes, qui se trouvant garanties du soleil et de la pluie par ces mêmes amas, y demeurent plus hautes que là où elles sont à découvert.

Saussure explique très-bien la formation et le parallélisme de ces lignes d'amas pierreux, en disant que les vallées ayant la forme d'un berceau, les glaces qui sont aux deux bords, et qui, chaque année, reçoivent les débris qui se détachent des montagnes voisines, s'écartent peu à peu du bord, et descendent sensiblement vers le milieu de la vallée, où, chaque année, il se forme une ligne de ces débris parallèle à celles des années précédentes.

Les glaciers sont fréquens sous les zônes tempérées,

partout où il existe des chaînes de montagnes suffisamment élevées. Ils manquent sous l'équateur, et malgré la prodigieuse élévation des montagnes, on n'y voit que des champs de neige, dont les limites sont déterminées par différentes circonstances.

A mesure que l'on avance vers le nord, la limite inférieure des glaciers s'abaisse jusqu'à descendre au niveau de la mer; mais il y a toujours une assez grande distance entre la limite inférieure des neiges perpétuelles et des glaciers. C'est vers le 67me degré de latitude que les glaciers atteignent le niveau de la mer. M. de Buch, dans son voyage en Norwège et en Laponie, cite le Runnen, entre les provinces de Helgeland et de Saltan, dont le sommet atteint au plus 1400 mètres et d'où descend un glacier qui est le plus méridional du nord de l'Europe, et peut-être, dit M. de Buch, le seul connu dont les glaces soient baignées par les eaux de la mer.

DES GLACES POLAIRES.

Les deux pôles de la terre, exposés pendant six mois aux rayons pâles et obliques du soleil, restent ensuite pendant le même espace de temps plongés dans une longue nuit qui n'est éclairée que par les flammes éclatantes mais momentanées de l'aurore polaire. Le froid le plus intense règne alors dans ces tristes régions, et la glace remplace l'eau qui fertilise et embellit nos climats. Les deux extrêmités de notre planète ressemblent alors aux glaciers et aux neiges éternelles qui couronnent les hautes montagnes et qui s'épanchent dans les vallées. Des hommes doués d'un courage et d'une prudence extrardinaires ont vainement tenté d'arriver aux deux pôles du globe, ils ont

toujours été arrêtés par les barrières glacées qui en interdisent l'accès à tous les êtres vivans. Mais si ces hommes n'ont pu parvenir au but qu'ils s'étaient proposé, ils ont du moins recueilli une masse de faits curieux pour la science, et c'est de leurs savans travaux que nous allons extraire quelques lignes intéressantes qui leur appartiennent en totalité.

Nature de la glace polaire.

On distingue dans les régions polaires la *glace d'eau douce* et la *glace d'eau salée*.

La première se reconnaît facilement en mer à son aspect noirâtre et à sa belle couleur verte et transparente quand on la retire de l'eau. Le capitaine Scoresby en a fait plusieurs fois des lentilles qui ne le cédaient pas au plus beau cristal, et dont il se servait pour allumer du bois et les pipes des marins, très-étonnés de voir ces masses de glace conserver leur solidité et leur transparence. Dans cette circonstance, la glace la plus dure et la plus transparente est de près d'un dixième plus légère que l'eau de mer à la température de 0. Plongée dans de l'eau pure de cette température, la proportion de la partie élevée à celle qui s'enfonce est comme 1 est à 15. Sa pesanteur spécifique est à peu près de 0,937.

La seconde espèce est blanche, poreuse et opaque, excepté les morceaux fort minces. La lumière qui la traverse est verdâtre. Elle est moins dure et surnage plus facilement que la glace d'eau douce. Long-temps exposée à l'air, elle se durcit et donne de l'eau douce en fondant. L'eau, au contraire, qu'on obtient par la fonte des fragmens retirés de l'Océan reste toujours un peu saumâtre, quoique très-probablement cette sa-

veur ne soit due qu'à de l'eau salée retenue dans les pores de la glace. Le capitaine Scoresby ne put cependant jamais parvenir à obtenir avec de l'eau de mer une glace dense et transparente. Il assure cependant que la gelée sépare facilement l'eau du sel, et il cite les jets d'eau salée qu'une mer houleuse jetait souvent sur son vaisseau et qui se transformaient en glaçons. On observait constamment dans le milieu une portion d'eau qui ne gelait pas et qui était saturée de sel.

Quand la glace d'eau salée nage dans l'Océan, à la température de o, la partie au-dessus de la surface est à la partie submergée à peu près comme 1 est à 4. Dans l'eau douce, à la même température, cette proportion est à peu près comme 10 est à 69, ou presque comme 1 est à 7. Il paraît donc que sa pesanteur spécifique est 0,873 (1).

De l'origine et de l'aspect des glaces polaires.

Les grands glaciers qui occupent les deux pôles ont été étudiés avec bien plus de soin au nord qu'au sud, quoique, selon toute apparence, ils soient beaucoup plus étendus autour du pôle austral.

Les côtes des terres les plus avancées vers le nord sont presque toujours couvertes d'une grande quantité de glaces qui s'y forment souvent, et qui d'autres

---

(1) Ces caractères des glaces polaires et la majeure partie de ce qui suit est extrait de l'ouvrage de M. Scoresby, dont le chapitre relatif à ces glaciers des pôles a été traduit par M. L. de Buch, et inséré dans le tome V des *Annales de Chimie et de Physique.*

fois viennent y échouer et restent pendant de longues années sur les mêmes rivages. Mais indépendamment des glaces qui sont ainsi accumulées contre les continens, la mer elle-même en est couverte.

Ce sont ces vastes plaines glacées que l'on appelle *champs de glace*, et qui ont une telle étendue qu'on n'aperçoit pas leurs limites du haut du mât d'un vaisseau. Ces champs, flottant à la surface de la mer, s'élèvent de quatre à six pieds au-dessus de sa surface, et s'enfoncent jusqu'à vingt pieds au-dessous. On en a vu de plus de trente lieues de long et de plus de 15 lieues de large, et de tels champs sont quelquefois si unis, qu'un carrosse aurait pu avancer de cent milles sur un de ceux que M. Scoresby rencontra, sans éprouver le moindre obstacle.

Ces champs ne restent pas toujours entiers, ils se brisent souvent avec fracas, et les fragmens s'amoncelant, se soudant de diverses manières, donnent naissance à de nouveaux champs bien moins réguliers que les précédens. Des protubérences, connues des marins anglais sous le nom de *hummock*, s'élèvent au-dessus d'eux à la hauteur de trente pieds, et donnent aux glaces polaires une physionomie particulière. D'autres protubérences, nommées *calf*, et analogues aux premières, n'en diffèrent qu'en ce qu'elles font saillie en dessous et plongent par conséquent dans l'eau. Toutes les masses de glace répandues dans le grand Océan et couvrant un espace assez étendu, peuvent être considérées comme des champs de glace brisés à fragmens soudés ou superposés de différentes manières.

Quand la température s'élève un peu, il arrive quelquefois que les champs de glace déjà brisés laissent disparaître leurs fragmens, qui deviennent des glaces flottantes dont les formes sont très-bizarres. M. Robert

en remarqua près des côtes d'Islande qui avaient la forme d'immenses bolets, sorte de champignon, dont le chapeau était blanc et le support d'un bleu intense. La mer qui les sapait continuellement, en leur donnant cette forme, prenait une belle teinte verte dans le voisinage.

Dans quelques circonstances, il semble que la vapeur d'eau puisse venir se fixer sur ces masses flottantes et y déposer un givre gigantesque. Le capitaine Parry rapporte que, se trouvant à une latitude très-élevée, il rencontra une série de glaçons d'une structure tout-à-fait singulière. Leur surface était presque entièrement couverte d'aiguilles de glace implantées verticalement, de 5 à 10 pouces de longueur sur un demi-pouce d'épaisseur, pointues par les deux bouts. Ces *buissons de glace*, qui rendaient la marche extrêmement pénible, déchiraient les bottes et blessaient les pieds. Pour surcroît d'incommodités, ces glaçons extraordinaires étaient chargés, pour la plupart, de tertres plus ou moins exhaussés, sur lesquels il fallait faire passer les bateaux, quelquefois en les soulevant perpendiculairement. On ne sait pas encore bien exactement comment se forment les champs de glace qui produisent ensuite toutes les variétés de forme que l'on rencontre dans la mer du Nord. On sait seulement que la glace peut être produite en pleine mer. M. Scoresby en a vu former à vingt lieues du Spitzberg, et même par un vent assez violent. Qand les premiers cristaux de glace paraissent, la surface de l'Océan ressemble, dit ce savant observateur, à celle d'une mer trop froide pour fondre la neige qu'on y aurait jetée. C'est ce que les marins nomment *studge* (saleté). La mer houleuse est tout d'un coup apaisée, comme par l'huile que l'on répand sur une surface liquide agitée. Le

mouvement des vagues brise cependant les cristaux en plusieurs fragmens de trois pouces au plus de diamètre. Ces morceaux, tout en augmentant, sont constamment heurtés les uns contre les autres, arrondis et relevés par leurs bords; ils se soudent encore, jusqu'à ce qu'enfin ils puissent atteindre un pied d'épaisseur sur plusieurs brasses de circonférence. Quand la mer n'est pas agitée, les progrès de la congélation sont plus rapides et la glace augmente aussi par la surface inférieure. Si le froid est intense, elle peut atteindre l'épaisseur de deux à trois pouces en 24 heures et soutenir le poids d'un homme en moins de 48. On conçoit alors qu'un mois de gelée continue puisse produire d'immenses champs de glace.

Il paraît cependant, au moins pour les glaces du pôle boréal, que plusieurs d'entre elles se forment près des terres et quelquefois même sur la terre, et que les grands champs de glace que l'on rencontre à de hautes latitudes ont du moins une origine qui n'est pas entièrement marine.

Voici la théorie qu'en donne M. Scoresby: « Il est à peu près certain que les vents doivent séparer les glaces du Nord par les courans irréguliers qu'ils occasionnent. Les ouvertures sont gelées de nouveau en peu de temps; il s'y forme une couche mince de glace nouvelle. La neige, qui généralement couvre ces masses jusqu'à la hauteur de deux à trois pieds, se fond vers la fin de juin et dans le mois de juillet; mais l'eau qui en provient ne pouvant arriver à la mer, puisque la glace nouvelle s'est soudée à l'ancienne, est retenue d'abord, gelée ensuite peu de temps après, et augmente ainsi la hauteur du champ de plusieurs pouces. Ceci répété pendant plusieurs années, conjointement avec l'augmentation de la glace par dessous, doit être

suffisant pour produire les masses les plus étendues, et une glace dense et transparente comme l'est en général celle des champs. »

On distingue des champs de glace dont nous venons de parler, les *montagnes de glace*, qui sont loin d'avoir une aussi grande étendue, mais qui sont beaucoup plus épaisses, ainsi que l'indique leur dénomination. Elles sont souvent situées sur la terre, à l'extrêmité des vallées qui viennent déboucher dans la mer, et elles offrent, de ce côté, un escarpement parfois très-considérable, tandis que, du côté des terres, elles s'enfoncent à des distances que l'on n'a pu déterminer. Ce sont les glaciers des régions polaires, qui arrivent jusqu'à la mer, où ils viennent se précipiter. Ces glaciers bouchent entièrement les vallées, comme cela a lieu aux sept montagnes, sur la côte nord-ouest du Spitzberg. Il règne sur cette côte un escarpement de glace qui a plus de trois cents pieds de hauteur, et qui forme un contraste remarquable avec la blancheur des grandes masses de montagnes neigées qui s'élèvent les unes au-dessus des autres en perspective infinie.

La pression exercée par l'accumulation des glaces, la marche progressive du glacier qui glisse sur un sol incliné, les fissures de la masse et la dilatation de l'eau qui s'y congèle, sont autant de causes qui doivent contribuer à verser dans la mer ces énormes fragmens que l'on y voit flotter, et que quelques navigateurs ont marqués sur les cartes comme de véritables îles. On en voit, en effet, dont les dimensions sont énormes. Le capitaine Wafer en cite de 500 pieds de haut, et si l'on se rappelle leur pesanteur spécifique, on jugera quelle énorme masse doit être cachée sous les eaux, puisqu'un dixième seulement s'élève au-dessus des flots. On en a vu chargées de grosses pierres et

d'arbres déracinés; on en vit même sur lesquelles des oiseaux avaient construit leurs nids. De petits lacs d'eau douce existent souvent sur ces masses de glace et sont de la plus grande utilité aux marins qui vont y faire de l'eau.

Les plus grandes de ces montagnes de glaces ne sont pas du côté de l'Europe, mais dans le détroit de Davis, dans la baie de Baffin, et sur les côtes du Groenland. M. Scoresby pense que, malgré la glace douce dont elles sont formées, ces montagnes peuvent prendre naissance dans la mer, dans les lieux où il n'existe pas de courans pour les entraîner. Il croit qu'elles peuvent se former dans des baies bien abritées des vents, de la même manière que les champs, par l'accumulation des neiges fondues et gelées de nouveau, qui peut-être ont exigé un grand nombre de siècles pour s'élever à une hauteur si prodigieuse.

Un caractère remarquable de toutes ces glaces est d'être extrêmement fragiles; ainsi le mouvement des vagues qui fait fléchir une couche mince qui s'étend à la surface de la mer, brise en un instant et avec un fracas épouvantable les champs de glaces dont nous avons parlé. Les montagnes surtout deviennent d'une fragilité inconcevable, quand la température de l'air a dégelé leur surface. On en voit se fendre dans toute leur hauteur, pour avoir été simplement frappées d'un coup de hache par un matelot qui voulait y fixer une ancre. Les pièces de la montagne se précipitent alors avec bruit, et le malheureux disparaît avec le bateau brisé et déchiré sous ces ruines glacées. Si la hache ne produit pas de fente, le bruit se propage dans toute la longueur de la glace, et indique la tendance qu'elle a de se briser. Souvent on y observe des fentes naturelles comme celles des glaciers des Alpes.

De la situation des glaces polaires.

Les glaces amoncelées aux deux pôles de la terre ont des limites comme les glaciers et les champs de neige de nos montagnes, mais ces limites sont loin d'être les mêmes à l'extrémité boréale ou australe du globe. On sait qu'elles sont bien moins étendues au nord qu'au midi.

Dans l'hémisphère nord, les limites actuelles des glaces sont les suivantes : Depuis le promontoire le plus austral du Groënland, la ligne des glaces s'élève vers le nord-est, embrasse l'Islande, et va monter vers l'île Jean-Mayer (latitude 71°, longitude $5\frac{1}{2}$ ouest *Greenw.*). Elle laisse cette île dans le nord-ouest, mais souvent aussi elle l'enveloppe, puis tourne un peu plus à l'est, et coupe le méridien de Londres entre 71 et 72°, Ayant atteint 6, 8 ou 10° de longitude, elle tourne tout-à-coup droit vers le nord, et s'élève quelquefois sans interruption jusqu'à 80° de latitude. D'autres fois, elle ne monte que de 2 ou 3 degrés, et tourne ensuite vers le sud-est et vers l'île aux Ours, puis elle se dirige est-sud-est, jusqu'à ce qu'elle atteigne la côte de la nouvelle Zemble ou de la Sibérie. La baie profonde que la glace forme aussi au sud-ouest du Spitzberg, est le seul endroit par lequel on puisse tenter de s'élever à des latitudes très-boréales. Lorsque la glace, au fond de cette baie, a une consistance assez forte pour empêcher d'avancer vers le Spitzberg, au-delà de 74 ou 75 degrés, les marins disent que la saison est *fermée*; elle est *ouverte* dans le cas contraire. Alors il existe un long canal d'eau entre la terre et la glace. Sa largeur est de 20 à 30 lieues, et il conduit jusqu'au 79e ou 80me degré. Il se rétrécit toujours de plus en plus en

se dirigeant vers le nord, et ses bords finissent enfin par se combiner avec les parties nord-ouest du Spitzberg. Dans une saison ouverte la glace continue, recommence au promontoire le plus austral du Spitzberg, va descendre à l'île des Ours, puis poursuit son cours vers l'est jusqu'à la nouvelle Zemble. Il s'en faut de beaucoup que cette ligne soit uniforme dans toute sa longueur. On y rencontre assez souvent des baies, et même des bras de mer qui ont depuis quelques toises jusqu'à plusieurs milles de largeur, mais la seule échancrure constante qui existe dans la glace est la baie dirigée vers le Spitzberg, et par laquelle les baleiniers tâchent d'arriver à leur station de pêche.

Le pôle austral est recouvert d'une bien plus grande quantité de glaces que le pôle nord. Elles s'étendent à 18 et même à 20 degrés. Les navigateurs n'ont guères pu pénétrer au-delà du 71e, et cela en un seul point au nord-ouest de l'extrêmité de l'Amérique; car ailleurs les glaces s'étendent presque partout jusqu'au 60e parallèle. Elles dépassent par conséquent le cercle polaire, qu'elles n'atteignent pas dans l'hémisphère opposé. Les glaces qui, dans l'hémisphère sud, s'étendent le plus du côté de l'équateur, se trouvent précisément vis-à-vis les mers les plus étendues, et les terres les plus éloignées du pôle, au point qu'on en trouve encore aux 48e et 49e parallèles, sur une étendue de dix degrés en longitude à l'ouest, et tout l'espace entre le 50e et le 60e degré de latitude est rempli de glaçons brisés, dont quelques-uns forment des îles d'une grandeur considérable.

On trouve aussi des plaines et des îles de glaces sous le 49e parallèle, à 60° de longitude est du méridien de Paris, et un plus grand nombre encore à 80 et 90° de longitude, sous la latitude de 58°; on en

rencontre beaucoup dans tout l'espace situé depuis le 90° jusqu'au 145° longitude est.

La terre de Sandwich, située par 59° de latitude, et l'île Georgie par 55°, sont les terres qui s'avancent le plus vers le pôle austral, mais elles sont séparées des glaces éternelles qui viennent seulement échouer sur leurs côtes. Les dernières terres habitables de cet hémisphère sont donc la Nouvelle-Zélande, la pointe de la Nouvelle-Hollande, et l'extrêmité de l'Amérique méridionale ou la terre de Magellan, dont la température est bien plus basse que celle des terres situées sous les mêmes parallèles dans l'hémisphère opposé. Aussi les glaces australes occupent une étendue six fois plus grande que celles du Nord.

C'est sans doute à l'absence des terres qu'il faut attribuer cette différence dans la situation et l'étendue des glaces polaires de cet hémisphère; car nous voyons les glaces se reculer quand les terres avancent, et s'avancer au contraire si elles s'éloignent. La même chose se présente dans le Nord, où le Spitzberg forme une pointe vers le pôle et semble reculer aussi cette ceinture glacée, qui s'avance bien plus loin dans les mers libres qui séparent l'Asie de l'Amérique. Peut-être la proximité du Gulf-Stream, dont les eaux conservent toujours une température élevée, contribue-t-elle aussi à réchauffer la mer qui sépare l'Amérique de l'Europe. Cette dernière, placée en face de ce golfe aux bords glacés, est séparée par une mer libre des glaces polaires, et jouit d'une température bien plus douce que l'Amérique, dont les côtes septentrionales servent d'appui à d'énormes glaciers.

Mouvemens des glaces polaires.

Nous avons vu, en parlant des glaciers des montagnes, qu'ils avaient un mouvement de translation bien marqué. Il semble naturel d'admettre aussi ce mouvement pour les glaces des pôles. Cette supposition paraît d'autant plus vraisemblable, qu'il se dépose continuellement de la neige aux extrêmités du globe, comme il en tombe sur les sommets des montagnes. Cependant on ignore encore si la glace qui se forme exactement sur les pôles descend ensuite jusques dans les mers libres où on la rencontre; on pourrait même avec quelque raison soutenir le contraire. Ainsi les champs de glace naissent, comme nous l'avons vu, dans les baies et les golfes par l'accumulation des neiges, peut-être aussi par la superposition continuelle de l'eau des fleuves, qui vient s'y épancher, qui se congèle et qui peut, dans certaines années, être enlevée par un débordement ou par l'action d'une température plus douce. Les montagnes de glace elles-mêmes, à part les petits fragmens qui se détachent des glaciers des vallées du Spitzberg et des terres polaires, peuvent aussi, comme les champs, être créées aux dépens des eaux salées, en sorte qu'il n'est nullement prouvé que les glaces éternelles marchent comme celles des montagnes. On n'a acquis cette certitude que pour les glaciers qui se rencontrent sur quelques points extérieurs des terres arctiques.

Lors même qu'on admettrait cette supposition pour le pôle nord, il faudrait bien convenir que les glaces du pôle austral se forment sur le pourtour de la coupole aux dépens des eaux de la mer, puisque, selon toute apparence, aucune terre ne leur sert de support et aucune vallée ne peut contenir ses glaciers.

Quelques personnes ont même supposé que les glaces ne formaient pas deux coupoles sur les pôles de la terre, mais deux ceintures de largeur inégale, au-delà desquelles se retrouvent des mers libres et navigables. On ne saurait admettre une telle idée, qui n'est basée sur aucun fait véritable ; il est bien plus probable que les glaces sont groupées autour des pôles glaciaux du globe, qui ne sont pas, comme nous l'avons vu, en nous occupant de la météorologie, les mêmes que les pôles géographiques. Que ce soit la présence des terres qui, en en modifiant la température, ait déterminé la position de ces pôles, la chose est possible ; mais tout porte à croire qu'ils sont couverts de glaces solides et éternelles.

Si l'on ne sait rien sur le centre de ces coupoles glacées, on sait que leurs bords sont doués d'un mouvement très-sensible, et qu'ils avancent comme ceux des glaciers. On croit même être certain que les glaces du pôle nord s'étendent, et l'on cite les côtes du Vieux-Groenland autrefois habitées, maintenant inaccessibles et cachées sous d'énormes glaçons. Peut-être sommes-nous dans une de ces périodes où les glaciers du nord avancent comme ceux des vallées de la Suisse; peut-être viendra-t-il une époque où on les verra rétrograder. De grandes oscillations, en rapport avec l'étendue des phénomènes, peuvent avoir lieu à notre insçu, et notre courte existence nous fait considérer comme éternelles quelques modifications passagères.

Il arrive pourtant aux glaces polaires de se fondre sur les bords, de se briser en fragmens, et de s'éloigner continuellement du lieu de leur production. Ainsi les champs de glaces, dès qu'ils sont détachés, commencent à se diriger vers des latitudes plus basses. C'est pendant l'été que les grands mouvemens de glaces s'o-

pèrent. Ce sont des débâcles analogues au dégel des fleuves, mais dont les causes et les effets se montrent sous de gigantesques proportions. Aux mois de juin et juillet pour l'hémisphère nord, pendant ceux de février et mars pour l'hémisphère sud, on voit les masses de glace avancer vers des régions plus chaudes et fondre en flottant sur l'Océan. Elles paraissent rarement au 40ᵉ degré de latitude, quoique l'on en ait vues quelquefois sous ce parallèle. Il est rare cependant de les rencontrer aussi bas dans la partie nord de la terre.

Un grand nombre de champs de glace paraissent au nord dès le mois de juin, et sont détruits par le mouvement qui les entraîne au sud-ouest, même par les temps les plus calmes et malgré des vents contraires. On les a vus souvent, dit M. Scoresby, avancer de plus de 100 milles dans cette direction pendant le courant d'un seul mois. Lorsqu'ils ont percé les pièces de glaces séparées, qui jusque-là les protégeaient, les vagues de la mer ouverte les brisent, les dissolvent et en font des glaces flottantes; d'autres champs prennent leur place. C'est sur ces plaines que les ours blancs font leurs voyages de mer. Ils s'avancent peut-être plus loin que les vaisseaux.

« Rien de plus sublime et de plus effrayant dans ces régions, continue cet intrépide marin, que l'effet des mouvemens accidentels des champs. On les voit fréquemment tourner avec une vîtesse de plusieurs milles par heure. Une telle masse, quand elle touche un champ en repos, ou mieux encore, quand elle est arrêtée par un champ qui est mu dans une direction contraire, produit un choc dont l'effet surpasse tout ce que l'imagination pourrait inventer. Une masse du poids de dix millions de tonnes arrêtée dans sa course! qu'on s'en représente les suites! Le champ le plus faible est entièrement détruit avec un bruit horrible. Des pièces de

dimensions énormes sont élevées les unes contre les autres à la hauteur de 20 ou 30 pieds; d'autres, au contraire, sont submergées. »

La glace a toujours une grande tendance à se mouvoir et à se disperser. Il semblerait qu'il existe une force répulsive entre ses fragmens; aussi quand la glace pesante ou vieille glace vient à se séparer par le dégel de la jeune glace ou glace légère, qui en liait les fragmens comme une sorte de brèche, les blocs sont aussitôt dispersés, même par les temps les plus calmes, et les vaisseaux qui, quelques heures auparavant, étaient enclavés dans la glace, trouvent tout-à-coup une mer ouverte et nettoyée.

Les montagnes de glace sont loin d'avoir la mobilité des champs et des fragmens qui résultent de leur choc ou de leur soudure; elles restent souvent un grand nombre d'années sans changer de place. Ainsi, deux îles de glaces se sont fixées depuis un demi-siècle dans la baie de Disco, et les baleiniers hollandais leur ont imposé des noms. Souvent les navires s'abritent près de ces montagnes flottantes, que les vents et les courans entraînent difficilement. Ils ont soin cependant de se garer près de celles qui ne sont pas trop élevées; car si elles sont délicatement équilibrées, un léger accident les fait tourner, et si en se déplaçant elles rencontrent dans le fond un obstacle qui les arrête, elles se fendent avec le bruit du tonnerre, et ce qui n'est pas écrasé sous leurs débris est englouti sous l'énorme lame à laquelle cette chute a donné naissance.

Il arrive cependant aussi aux montagnes d'être entraînées par des courans, ce qui a toujours lieu pour les autres espèces de glace.

M. Wrangel, chargé par le gouvernement russe de compléter la reconnaissance de la mer Glaciale, a re-

connu un singulier mouvement dans ces amas de glaces dont cette mer est couverte. Pendant un séjour de trois ans dans ces parages, il a vu que les neiges accumulées pendant de longs et rigoureux hivers ne s'y fondent point en entier par la chaleur d'un été très-court. Les circonstances y sont les mêmes que dans les hautes montagnes où il se forme des glaciers ; les débordemens extraordinaires des fleuves doivent entraîner de grandes masses de ces neiges superposées, pendant plusieurs années et consolidées par la demi-fusion qu'elles ont éprouvée en été. Elles s'entassent vers l'embouchure des courans qui les ont arrachées et transportées, et parviennent ainsi dans une mer libre à cette époque, subissent l'action des vents et des tempêtes, jusqu'à ce que l'hiver les fixe à une place où elles resteront pendant toute cette saison. Aux approches du froid, ces masses flottantes sont environnées presque subitement d'une couche immense de glace qui couvre bientôt toute la surface de la mer, à l'exception de quelques espaces qui résistent à la congélation. Ces espaces sont quelquefois des lacs assez petits; mais on en voit aussi de très-grands, et M. Wrangel a suivi, sur une étendue de plus de 400 lieues, les bords du plus grand de tous sans en découvrir les limites.

On serait porté à penser que la surface des eaux est presque immobile dans les petits lacs; qu'elle n'y éprouve d'autre agitation que celle qu'on voit sur toute autre pièce de même étendue ; il n'en est cependant pas ainsi. Les grandes oscillations de l'Océan se communiquent par dessous les glaces, rompent cette croûte superficielle, entraînent les fragmens jusques aux lieux où ils peuvent parvenir à la surface, et c'est là que l'on voit sortir du sein de l'Océan ces montagnes de glaces de nouvelle formation, dont un prodi-

gieux bouillonnement précède et annonce l'apparition. les Yakoutes nomment *polinies*, ces places où la mer n'est pas gelée, quoique entourée de glace. Les plus petites sont précisément celles où l'on a le plus souvent le spectacle de ces éruptions si différentes de celles des volcans, et non moins dangereuses pour le navigateur, qui fait voguer son canot sur ces ondes perfides, tandis que la tempête gronde au loin. Pour avoir une idée exacte de cette navigation, il faudrait pouvoir se représenter ces régions affreuses, leurs glaces, leurs neiges et leurs brumes, par un froid de plusieurs degrés au-dessous de la congélation du mercure, et cependant une eau liquide et un canot qui parcourt son étendue ! des hommes qui ont fixé leurs demeures près de ces dernières limites de la nature vivante ! et des savans qui vont les visiter !

L'eau qui se congèle autour des polinies dépose du sel sur leurs bords, mais pourtant, d'après les observations de M. Wrangel, la glace en retient une petite quantité.

Les glaces polaires, dès qu'elles sont séparées du continent glacé, auquel elles semblent adhérer dans le principe, ont toutes un mouvement de translation très-marqué qui les éloigne du pôle. Il est quelquefois très-difficile de reconnaître ce mouvement, à cause de l'étendue des champs de glace, dont on ne voit pas toujours les limites, et aussi parce que différentes masses de glace, marchant dans la même direction et avec des vîtesses presque semblables, ne donnent aucune indication du mouvement. Le capitaine Parry fit une triste expérience de cette dérivation des glaces.

« Le 26, vers midi, dit ce célèbre marin, le ciel fut sans nuages et l'on put prendre la hauteur du soleil. On trouva que la latitude était de 82° 40′ 23″;

ainsi, depuis le 22, quoique nous eussions, suivant nos calculs, parcouru 19 milles (environ six lieues) vers le nord, nous avions rétrogradé de 3 milles (une lieue) vers le sud. La dérive des glaces nous entraînait donc en sens contraire plus vîte qu'il ne nous était possible d'avancer vers notre but. Il paraît que le mouvement des glaces vers le sud était au moins de 4 milles par jour. »

Malgré ces mouvemens continuels, il y a aussi de temps en temps des débâcles des glaces polaires, et c'est à un phénomène de ce genre qu'il faut attribuer la température extraordinaire de 1816. De vastes masses glacées, en avançant vers le sud, avaient refroidi toute la zône tempérée de l'hémisphère boréal.

En 1818, on trouvait encore de grandes masses de glace par 41 et 42° de latitude nord. Des journaux anglais ont même assuré que certaines masses avaient gagné les mers tropicales, et qu'on en avait vu près du canal de Bahama. Ces montagnes étaient quelquefois très-considérables, et leur base atteignait une grande profondeur. En approchant du pôle, on les voyait souvent marcher dans des directions contraires. Les unes, peu volumineuses, étaient poussées par les vents; d'autres, profondément enfoncées dans la mer, étaient entraînées par des courans inférieurs, en sens contraire des premières. Leur vîtesse était en général peu considérable.

Le 20 janvier 1818, le bâtiment du capitaine W. Dayment se trouva, le matin, tellement pris dans les glaces, qu'on n'apercevait aucune issue, même du haut des mâts. La glace, dans toute cette étendue, s'élevait d'environ 14 pieds au-dessus de la surface des eaux. Elle se mouvait vers le sud-est, et entraîna le bâtiment dans cette même direction pendant 29 jours

consécutifs. Le 17 février, le capitaine Dayment, se trouvant alors par 44° 37′ de latitude nord, aperçut une issue vers le sud-est et parvint à se dégager. Depuis le 20 janvier jusqu'au 3 février, le bâtiment faisait à peu près une lieue et ½ par jour ; mais à partir du 3 février jusqu'au 17 de ce mois, la vîtesse était d'une lieue en trois heures.

Une débâcle extraordinaire a eu lieu, en 1829, dans les glaces du pôle antarctique. Dès la fin d'avril, des navires anglais ont rencontré, à cent lieues du cap de Bonne-Espérance, des glaces flottantes d'une énorme grandeur. Le bâtiment de la compagnie des Indes, le *Farquharson*, étant par 39° 13′ de latitude, et 48° 46′ de longitude, vit deux montagnes de glace hautes de 150 pieds et ayant deux milles de circonférence. Leurs flancs étaient profondément fissurés, et offraient, dans des endroits, l'aspect brillant que présente le sucre raffiné, tandis que dans d'autres, ils avaient l'apparence d'un rocher calcaire, ou celle que l'on observe dans les falaises d'une terre très-élevée. Ces montagnes étaient environnées de bancs de glace qui paraissaient en être des fragmens détachés et sur lesquels la mer se brisait avec fureur (1).

On voit que des causes qui nous sont inconnues amènent encore de grandes révolutions à la surface du globe. Deux énormes fleuves descendent des coupoles de glaces qui rendent inhabitables les deux points opposés de notre monde. Ils entraînent avec eux les fragmens de ces continens que le froid rend solides, et

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XLII, p. 418.

vont ainsi rafraîchir les mers des tropiques. Peut-être la grande accumulation des glaces australes compense-t-elle, en partie, l'absence de véritables continens dans cet hémisphère.

ÉLÉMENS DE GÉOLOGIE ET D'HYDROGRAPHIE.

SECONDE PARTIE.

DE LA GÉOLOGIE.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA SURFACE EXTÉRIEURE DU GLOBE.

Nous savons déjà que les parties émergées de la terre sont à la surface des eaux dans le rapport de 1 à 4, ou peut-être plus exactement de 2 à 5. Et nous avons vu que la majeure partie des continens se trouvaient situés dans l'hémisphère nord. Nous pourrions aussi partager le globe d'une autre manière en deux demi-sphères, dont l'une contiendrait une grande partie des eaux, et l'autre

presque toutes les terres. Car les grands continens sont réunis entre les méridiens de 10° à l'ouest et de 150° à l'est de Paris, tandis qu'un hémisphère aquatique commence à l'occident du méridien des côtes du Groenland, et finit à l'orient des côtes orientales de la Nouvelle-Hollande et des îles Kariles. A la vérité, il peut se faire que des continens étendus aient existé dans ces mers. Peut-être de vastes terres asiatiques, situées sous l'équateur, ont-elles entièrement disparu comme la grande île Atlantique, dont les hommes ont conservé le souvenir. Nous reviendrons plus loin sur ces vieilles pages de l'histoire du globe.

Les continens et les îles s'élèvent au-dessus de la mer, mais d'une quantité bien petite, si nous comparons cette élévation au diamètre de la terre. Car si nous voulions les marquer en élévation sur un globe de 16 pouces, il suffirait de découper des morceaux de papier qui, collés sur ce globe, nous indiqueraient les saillies de nos terres et de nos empires, dont les plus petits grains de sable marqueraient les plus hautes montagnes.

Deux causes semblent avoir concouru à la création des continens : l'abaissement des mers et le soulèvement du sol. Mais dans l'état actuel, notre planète nous offre deux grandes masses de terres désignées sous les noms d'*ancien* et de *nouveau* continens. Nous ne nous attacherons pas ici à décrire leurs formes, car une description minutieuse en donnerait une idée très-inexacte, tandis que l'inspection d'une bonne mappemonde en apprendra sur-le-champ plus que nous ne pourrions en dire en un long chapitre.

Tout le monde sait que l'Asie et l'Europe, auxquelles l'Afrique est réunie par une petite langue de terre, composent l'ancien monde, qui est entièrement séparé du nouveau par ses deux extrémités.

Le nouveau continent se compose de deux vastes espaces réunis aussi par un isthme, et qui s'étendent en longueur plutôt qu'en largeur. Il est formé des deux Amériques.

La plupart des îles se rattachent à ces continens, et s'y réuniront peut-être un jour définitivement. Les archipels sont probablement ces continens naissans dont les montagnes seulement s'élèvent à présent au-dessus des flots.

En Europe, les îles les plus considérables sont dans l'Océan : C'est l'Angleterre, l'Irlande et l'Islande. La Méditerranée renferme, du couchant au levant, Majorque, Minorque, la Sicile, Malte, Candie et Chypre.

Les îles de la mer d'Asie sont : les Maldives, remarquables par leur grand nombre et formant une chaîne de montagnes sous-marines, dont tous les sommets se trouvent à découvert et sont d'une élévation à peu près égale ; l'île de Ceylan, les îles de la Sonde, qui comprennent Sumatra, Java et Bornéo ; les Moluques, la Nouvelle-Guinée, les Philippines, et plus au nord les îles du Japon, les Kouriles, et enfin les îles Aléoutes, qui forment une chaîne presque continue entre le Kamtschatka et l'Amérique.

Dans le vaste Océan équinoxial, qui sépare l'Asie de l'Amérique, on trouve la Nouvelle-Hollande et plusieurs archipels, comme la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Zélande, les îles d'Otaïthi et de la Société, les îles Sandwich, etc. On a groupé toutes ces îles autour de la Nouvelle-Hollande, et les géographes ont été heureux de créer une cinquième partie du monde, sous le nom d'*Océanie* ou de *Polynésie*.

Autour de l'Afrique sont les Canaries, les îles du Cap-Vert, l'île de Madagascar, qui, par son étendue,

formerait un empire; les îles de France et de la Réunion, etc.

Les îles de l'Amérique sont, Terre-Neuve, qui est d'autant mieux nommée, qu'elle semble un produit récent des atterrissemens du fleuve Saint-Laurent; les îles de Cuba, de Saint-Domingue, qui sont très-étendues; la Jamaïque, les Antilles, la Trinité; et enfin, à l'extrêmité de l'Amérique méridionale, la Terre-de-Feu, célèbre par le détroit de Magellan, qu'elle accompagne dans toute sa longueur, d'environ 200 lieues, et qui fut formé par les courans généraux d'orient en occident, qui s'y font encore sentir habituellement, et qui portent dans la mer Pacifique une partie des eaux qui viennent du côté de l'Afrique frapper contre les côtes orientales de l'Amérique.

Les îles, comme les continens, sont bien loin d'offrir une surface plane. Elles ne sont que la continuation du fond des mers que nous savons être très-inégal, et par conséquent de nombreuses différences de niveaux doivent aussi se faire remarquer sur les terres découvertes. De là les noms de *montagnes* et de *vallées*, pour désigner d'une manière générale les points élevés et l'espace qui les sépare. Si les points élevés, au lieu de se terminer en pointe et d'être isolés, sont réunis et forment un massif, la partie supérieure prend le nom de *plateau*; et lorsque les vallées, au lieu d'être formées par deux pentes qui viennent se joindre sous un certain angle, sont étendues et à fond plat, on les désigne sous le nom de *plaines*. Ces termes s'emploient ici dans un sens général, car nous verrons qu'il existe une foule de dénominations particulières pour préciser diverses modifications des montagnes, des vallées, et des plaines situées à différens niveaux.

DES MONTAGNES.

Les montagnes sont des points plus élevés que ceux qui les environnent, et dont la plus grande hauteur, pour notre planète, atteint tout au plus 8,000 mètres au-dessus du niveau de la mer. C'est la 1,600^{me} partie du diamètre de la terre; ce serait la hauteur d'un 20me de pouce sur un globe de 16 pieds. Ces dimensions, qui ne sont rien pour la nature, sont effrayantes pour nous. Les animaux et surtout les végétaux se groupent par zônes sur les pentes de ces rugosités de la terre, et leurs sommets couverts de glaces éternelles, rappellent l'image de la mort et des glaces polaires.

Il est rare que des montagnes atteignent une si prodigieuse élévation, car celles qui s'élèvent à 4,000 mètres, c'est-à-dire à la moité de la hauteur que nous venons de citer, sont encore considérées comme très-hautes; quand elles s'abaissent beaucoup, on les nomme *collines*.

Rien de plus varié que la forme des montagnes. Leur structure, leur composition, leur hauteur, l'inclinaison de leur pentes et une foule d'autres circonstances influent sur leur configuration. Tantôt ce sont des cimes élancées et inaccessibles, formant des crêtes dentelées, se divisant en aiguilles ou en obélisques; tantôt ce sont des pics réguliers qui se terminent en une pointe plus ou moins étroite; ou bien l'on voit des cônes scorifiés à pentes douces ou escarpées, terminés par des cratères ou des sommets tronqués; ce sont des *puys* ou des cônes volcaniques. D'autrefois ce sont des dômes ou des cloches, que l'on désigne aussi sous le nom de *ballons*. D'autres ont la forme de cornes, de colonnes, d'édifices ruinés; enfin plusieurs d'entre elles présentent de gros-

sières ressemblances avec des statues colossales, des animaux ou plusieurs autres objets dont elles emprunten les noms.

Nous venons de voir les formes des sommets, celles de la base sont moins variées. Le plus souvent c'est un ovale irrégulier ou un polyèdre placé obliquement sur le sol. Cette base peut se réunir à d'autres, offrir des angles nombreux, indices de petites vallées qui sillonnent les flancs de la montagne. Celles-ci peuvent offrir des pentes douces ou rapides, se trouver nues ou couvertes de nombreux végétaux; elles peuvent être cachées par des éboulemens ou offrir des escarpemens verticaux, du sommet desquels s'élancent des ruisseaux qui se changent en cascades. D'autrefois elles sont étagées et simulent d'immenses gradins que l'on ne franchit souvent qu'avec peine.

Il est très-rare que les montagnes soient isolées, comme nous venons de le supposer. Cela arive cependant pour celles qui sont volcaniques, pour certains *ballons* et pour quelques éminences formées de roches dures qui ont résisté aux causes d'érosion qui ont détruit les montagnes voisines. Le plus ordinairement les montagnes sont réunies et forment des groupes plus ou moins étendus et diversement arrangés, ou des chaînes simples, doubles ou croisées, et l'on en voit de si longues, qu'elles traversent des continens entiers. Leurs sommets dentelés s'abaissent quelquefois, et laissent quelques passages que l'on appelle *cols*, tandis que la ligne de faîte séparant les eaux comme l'arête d'un toît, sert de limite à des bassins hydrographiques.

Les neiges s'accumulent sur ces hautes sommités, des glaciers descendent dans les vallées latérales; les nuages s'amoncellent autour des cimes qui les attirent, ou flottent dans les hautes vallées. De nombreux vé-

gétaux s'étendant sur des pentes uniformes ou ravinées, étalent leurs fleurs près des glaces éternelles, et contrastent, par leur feuillage léger et découpé, avec ces lourdes masses qui leur servent de point d'appui. Des gorges, des crevasses mettent à découvert la nature du sol, et le naturaliste passe des jours, des mois, des années à contempler toutes ces merveilles. Celui qui, par zèle, a visité les montagnes, qui, dans sa jeunesse, a admiré ces sites magnifiques que présentent les hautes régions du globe, ne peut plus s'en arracher, et si, dans sa vieillesse, il demande au ciel quelques années d'existence, c'est qu'alors seulement il reconnaît toute son ignorance des grandes œuvres de Dieu, et voudrait pouvoir les admirer encore.

Les chaînes de montagnes, considérées en général, n'ont aucune direction déterminée. Elles rident le sol dans tous les sens, se croisent quelquefois, et semblent même offrir des ondulations, s'abaissent, puis se relèvent successivement quand elles sont très-longues.

On en voit qui marchent parallèlement, ou bien qui sont flanquées de chaînes plus petites qui finissent par se transformer en collines, puis en simples ondulations du sol, qui se confondent avec les plaines. C'est ce qui arrive souvent pour les montagnes groupées, dont le centre est occupé par les plus hautes, tandis que le terrain semble soulevé tout autour, jusqu'à une certaine étendue.

Dans les chaînes il y ordinairement un versant dont la pente est très-douce et se prolonge au loin, tandis que l'autre est escarpé et diffère beaucoup de celui qui lui est opposé. Ce caractère n'est cependant pas général; car certaines chaînes ont les deux versans très-adoucis des deux côtés.

Tous les continens contiennent des montagnes réunies en groupes ou en chaînes plus ou moins étendues.

L'Europe nous offre les Alpes, qui s'étendent sur un grand espace et dont le sommet le plus élevé est le Mont-Blanc, qui atteint 4,754 mètres; les Pyrénées qui forment une large ligne sur l'Isthme qui sépare la France de la Péninsule Ibérique : sa cime la plus élevée est la partie orientale de la Maladetta, dont la hauteur est de 3,481 mètres; les monts Krapacs qui sont en Pologne et s'étendent à l'est de la Moravie et au nord de la Hongrie ; l'Appennin en Italie; les Vosges, les Cévennes, les montagnes du centre de la France, les Ardennes.

En Afrique, les montagnes les plus considérables et les plus célèbres sont les monts Atlas et les montagnes de la Lune. La première chaîne, fort élevée, s'étend d'occident en orient depuis l'Océan Atlantique jusqu'à une certaine distance de l'Egypte. Sa cime est ordinairement couverte de neige. Les montagnes de la Lune environnent le Monomotapa, et se prolongent assez loin au midi; elles sont aussi couvertes de neige, quoique situées sous la zône torride. Dans la Guinée se trouvent celles de Sierra-Leona. La pointe méridionale de l'Afrique est aussi couverte de longues chaînes de montagnes fort élevées, dont les plus remarquables sont celle de Lupata, et ensuite celles qui ceignent le cap de Bonne-Espérance, telles que la montagne de la Table, celles du Diable, du Lion, etc.

L'Asie nous offre les montagnes les plus hautes du monde, qui se trouvent dans la chaîne des monts Hymalaya. L'une d'elles dépasserait l'énorme hauteur de 8,000 mètres, c'est-à-dire deux lieues de poste en hauteur au-dessus du niveau de la mer. On y voit aussi les montagnes d'Arménie, parmi lesquelles sont le mont

Ararat, les Gates, le Caucase, l'Oural qui sépare l'Asie de l'Europe.

L'Amérique est relevée de hautes montagnes qui appartiennent presque toutes à une chaîne immense, la Cordillère des Andes, qui la traverse en son entier, et qui a reçu différens noms, selon sa position. La plupart des autres montagnes viennent s'y rattacher par quelque chaînon. Des sommités très-élevées se détachent de cette longue série; tel est le Chimborazo qui atteint 6,372 mètres (1), et qui a passé long-temps pour la plus haute montagne du monde.

Si les montagnes du continent américain ont perdu cette prérogative, elles forment du moins la masse la plus considérable qui existe. La chaîne des Andes s'approche presque également des deux pôles de notre globe. Ses extrêmités n'en restent éloignées que de vingt-neuf à trente degrés de latitude. « Elle s'étend, dit M. de Humboldt, depuis les îlots placés au sud de la Terre-de-Feu, ou depuis le cap Horn jusqu'au mont St-Elie, situé au nord-ouest du port Mulgrave, c'est-à-dire, depuis le 55° 58′ de latitude australe jusqu'au 60° 12′ de latitude boréale. Elle a 2,500 lieues de long sur 30 à 40 de large. »

« L'élévation de la Cordillère des Andes est beaucoup plus inégale qu'on ne le croit communément. Il

---

(1) La vaste étendue de terrain que l'œil peut découvrir de la haute cime des Cordillères aurait été pour M. de Humboldt, au point auquel il est monté vers la cime du Chimborazo, d'un diamètre de 87 lieues nautiques; elle aurait été pour M. Gay-Lussac de 106 lieues; mais les nuages et les vapeurs ont dérobé à tous deux la vue des basses régions. (Humboldt, *Géographie des plantes*, p. 135.)

en existe des parties dans l'hémisphère austral, entre le Chimborazo et Loxa, dont la crête n'excède pas la hauteur du St-Gothard; il en existe dans l'hémisphère boréal, dans l'isthme de Panama, près du Cupiqué, qui ne s'élèvent pas à deux cents mètres (100 toises); mais quatre fois la Cordillère atteint une masse et une élévation colossales : sous le dix-septième degré de latitude australe dans le Pérou; puis sous l'équateur même, dans le royaume de Quito; une troisième fois dans le Mexique, sous le 19e degré de latitude boréale; enfin, une quatrième fois vis-à-vis de l'Asie, sous le 60e degré de latitude. La hauteur des cimes excède celle du Mont-Blanc, et s'élève à cinq ou six mille mètres (2500 à 3000 toises) de hauteur. En général, la chaîne des Andes, même dans les hauts plateaux de Quito et du Mexique, peut étonner notre imagination, plus encore par sa masse que par sa hauteur.

La hauteur moyenne des hautes Andes, près l'équateur, en faisant abstraction des pics qui s'élancent au-dessus de la crête, est de trois mille neuf cents à quatre mille cinq cents mètres (2000 à 2300 toises); et la hauteur moyenne de la crête des Alpes et des Pyrénées est de deux mille cinq cents à deux mille sept cents mètres (1300 à 1400 toises). La largeur moyenne de ces dernières chaînes n'est que de dix à douze lieues nautiques, tandis que celle des Andes est, à Quito, de vingt, et au Mexique et en quelques parties du Pérou, de quarante à soixante lieues. Ces considérations sont plus propres à donner une idée exacte de la grande différence des masses des Andes, des Alpes et des Pyrénées, que la comparaison de leurs plus hautes cimes, qui sont de six mille trois cent soixante-douze mètres (3270 toises); de quatre mille sept cent cinquante-

quatre mètres (2440 toises), et de trois mille quatre cent trente-quatre mètres (1764 toises) (1). »

DES VALLÉES.

Les vallées sont les espaces qui séparent les montagnes et dans lesquelles viennent se réunir les eaux pluviales qui tombent sur leurs flancs. Tantôt elles sont très-étroites, parce que les montagnes sont rapprochées; d'autres fois elles ont une grande largeur, parce que les montagnes sont situées à de grandes distances. On voit donc qu'une vallée peut, dans certains cas, n'être qu'une véritable fente ou une crevasse, et dans d'autres se transformer en une plaine plus ou moins resserrée. Ceci donne un nouvel exemple des difficultés que l'on éprouve chaque fois que l'on étudie la nature, lorsqu'on veut donner des définitions précises.

On a cru très-long-temps que les vallées avaient toutes été produites par les eaux qui, descendant des montagnes, avaient peu à peu usé les points sur lesquels elles s'épanchaient, et avaient enfin fini par se creuser un lit profond. On faisait remarquer, pour soutenir cette opinion, la concordance qui existe souvent entre la nature des roches qui composent les deux côtés de la vallée, et l'on s'appuyait aussi sur le parallélisme des lignes anguleuses qui en déterminent les contours.

D'autres géologues ont prétendu, au contraire, que les vallées avaient été produites par des soulèvemens, des tremblemens de terre et de violentes secousses qui avaient fendu le terrain ou redressé ses couches de différentes manières. La similitude des deux versans leur

(1) HUMBOLDT, *Géographie des plantes*, p. 117.

servait, comme aux partisans de l'érosion, pour soutenir une thèse que l'on a généralement adoptée aujourd'hui. Cependant tous ceux qui recherchent sincèrement la vérité et qui ont un peu de pratique dans l'étude de la nature, se méfient avec raison des systèmes exclusifs. Ils reconnaissent bientôt que Dieu, ayant à sa disposition un foule de moyens divers pour arriver au même but, se servait des uns et des autres avec une sagesse bien supérieure à nos petites vues et à notre faible intelligence. Il y a donc des vallées produites par ces différentes causes, et souvent plusieurs d'entre elles concourent ensemble à les creuser.

Les grandes chaînes de montagnes sont séparées par de grandes vallées dont les pentes sont ordinairement très-douces, et dont le *talwègue* ou la ligne la plus basse est occupée par une rivière ou par un fleuve. Ce sont des vallées *longitudinales*, et les montagnes qui les bordent ont souvent le plan des couches dont elles sont formées parallèle à la direction de la vallée.

D'autres vallées viennent s'ouvrir dans celles-ci. Elles sont plus étroites, leurs pentes sont abruptes, leur longueur bien moins grande. Elles coupent presque toujours à angles droits le plan des couches. Ce sont les vallées *transversales*.

Ces deux sortes de vallées se rencontrent souvent dans les pays de montagne; ainsi l'on voit les unes et les autres dans les Alpes, et l'on ne rencontre guère que les secondes dans les Pyrénées.

Des cours d'eau descendent dans presque toutes les vallées. Ils y entraînent et y accumulent quelquefois des débris qu'ils arrachent aux sommets.

Des glaciers descendent aussi dans celles qui sont transversales, et amènent de volumineuses moraines à leur extrêmité inférieure.

La forme des vallées varie singulièrement. Quelquefois elles commencent au sommet le plus abaissé des montagnes, c'est-à-dire, aux cols ou passages, et s'étendent en s'élargissant toujours, jusqu'à ce qu'enfin elles débouchent dans une plaine ou dans une autre vallée. On en voit qui, avec ces caractères, se rétrécissent tout-à-coup, se trouvant resserrées entre de hautes murailles qui les réduisent à une très-petite largeur, puis elle s'étendent encore pour se rétrécir ensuite, formant une série de bassins qui débouchent les uns dans les autres par des défilés très-étroits. Quelques-unes naissent au pied de hautes montagnes, qui s'élèvent escarpées au-dessus d'elles, et commencent brusquement avec une certaine largeur. On en voit même qui ont pour origine un cirque étendu, entièrement fermé par de grands escarpemens et n'ayant qu'une seule ouverture qui donne issue aux eaux qui s'y rassemblent. On rencontre de ces vallées dans les Alpes, les Pyrénées, l'Auvergne et dans la plupart des chaînes de montagnes.

On donne le nom de *cirques* à ces espèces de bassins où commencent certaines vallées, et celui de *gorges* ou *défilés* aux points resserrés qu'elles présentent. Ces cirques offrent des caractères très-intéressans et très-curieux à étudier. On les rencontre dans un grand nombre de lieux, avec des formes variées, mais se rapprochant toujours du cercle ou de l'ovale. M. Rozet a décrit ceux du Jura qui sont en grand nombre, et dont les bords s'élèvent jusqu'à 300 mètres. Il en existe de très-beaux dans les Pyrénées; tel est celui de Gavarnie et celui qui est encore occupé par le lac d'Oo. L'Auvergne en présente des exemples en miniature, au sommet de la vallée des bains du Mont-Dore, à l'extrémité de la vallée de Chaudefour, et dans plusieurs

lieux du Cantal. Quelquefois ces cirques s'élargissent et forment alors de véritables plaines, limitées partout par des montagnes et offrant de fertiles bassins. Telle est la Limagne d'Auvergne; telle est aussi la Bohême et le grand cirque où se trouve la ville de Mexico.

Dans des circonstances tout-à-fait opposées, les vallées sont tellement resserrées qu'elles ressemblent à des fentes qui se seraient opérées brusquement; telles sont ces vallées étroites que des tremblemens de terre paraissent avoir ouvertes dans les Andes, quelques-unes d'elles sont si profondes, au rapport de M. de Humbold, que le Vésuve, le Schneekoppe de la Silésie, et le Puy-de-Dôme de l'Auvergne, pourraient y être placés sans que leur cîme égalât la crête des montagnes qui bordent la vallée de plus près. Celle de Chota, dans le royaume de Quito, a quinze cent soixante-six mètres (804 toises;) celle du Rio-Cutacu, au Pérou, a plus de treize cent soixante-quatre mètres (700 toises) de profondeur perpendiculaire; et cependant leur fond reste encore élevé d'une égale quantité de mètres au-dessus du niveau de la mer. Leur largeur n'est souvent pas de douze cents mètres (500 toises) (1). Aux Pyrénées aussi, la crevasse d'Ordesa, près du Mont-Perdu, a, selon Ramond, huit cent quatre-vingt-seize mètres (459 toises) de profondeur moyenne.

On voit par ce qui précède, que le fond des vallées est souvent fort élevé au-dessus de l'Océan, ce qui a toujours lieu dans les pays de montagnes; mais à mesure que les vallées s'abaissent pour s'ouvrir dans les plaines, et quelquefois dans la mer, on conçoit que leur fond doit suivre ce mouvement, et devenir à la

(1) Humboldt, *Géographie des plantes*, p. 55.

fois horizontal et peu élévé au-dessus du niveau de l'Océan.

Ordinairement quand les vallées s'éloignent du point qui leur sert d'origine, leurs versans s'abaissent graduellement, et elles s'élargissent en même temps au point de ne plus offrir que de larges sillons au milieu des ondulations du sol.

De l'origine des vallées.

Les grandes crevasses que l'on voit dans les hautes montagnes semblent indiquer clairement leur origine; on ne peut les attribuer qu'à des tremblemens de terre, qui sans doute ont été autrefois plus violens qu'aujourd'hui. Elles retracent au géologue l'image d'immenses filons que la nature n'aurait pas remplis. Il faut bien se garder de confondre ces grandes crevasses avec les ravins que nous voyons tous les jours se former dans les flancs des montagnes, et avec une rapidité d'autant plus grande que les eaux érosives sont plus abondantes, plus rapides, et les roches plus tendres.

Non-seulement les grandes oscillations du sol ont pu produire les abîmes que nous venons de citer, mais tout porte à croire qu'elles ont donné naissance à toutes les grandes vallées des montagnes. Les cours d'eau qui les traversent maintenant, lors même qu'ils sont gonflés par la fonte des neiges et les plus fortes pluies d'orage, ne sont rien quand on les compare aux effets qui ont été produits.

En admettant même que ces eaux eussent été plus abondantes autrefois qu'aujourd'hui, elles eussent encore été incapables de creuser des vallées aussi larges, aussi longues, aussi profondes que celles qui

existent dans les grandes chaînes de montagnes. Et d'ailleurs, si ce liquide avait pu seul produire ces grandes inégalités du sol, on verrait les vallées commenr cecomme nos ravins, par un léger sillon, dont la profondeur et la largeur iraient en augmentant toujours, tandis que les unes sont plus larges en certains points qu'en d'autres; on en voit qui ont un cirque pour point de départ, et quelques-unes même qui semblent entièrement fermées. Les cours d'eau doivent nécessairement avoir modifié les vallées. Ils doivent avoir corrodé leurs parois, approfondi quelques parties de leur lit, changé l'inclinaison de leurs pentes, et surtout avoir amoncelé dans quelques parties les débris qu'ils arrachaient dans d'autres; mais ces petits effets ne sont rien quand on les compare à la physionomie générale d'un pays de montagnes.

Il y a pourtant dans les pays de plaines ou de collines, des vallées qui ont été entièrement creusées par les eaux. Si la direction de quelques-unes d'entr'elles a été déterminée par une fente, ou une petite dépression du sol, on peut en général attribuer à l'eau tout le mérite de ces petites vallées des terrains meubles. On trouve un grand nombre de ces sillons dans tous les terrains de sédiment; aux environs de Paris, en Belgique, en Auvergne, et même au milieu des basaltes, du Velay et du Vivarais.

D'après cela, on distingue souvent les vallées en vallées des pays de montagnes et vallées des contrées basses. On attribue aux premières une origine dépendante des forces agissantes dans l'intérieur du globe, sur lesquelles nous reviendrons par la suite avec détails, et l'on pense que les autres sont le résultat de divers cours d'eau qui la plupart du temps existent encore au fond des excavations qu'ils ont creusées. Ces

deux forces ont un peu empiété sur leurs attributs respectifs, et en somme, la première a imprimé son caractère aux surfaces élevées des continens.

Un fait assez curieux est la présence de vallées basses, évidemment produites par l'action des eaux, dans des contrées où il ne pleut jamais, et où il n'existe pas de cours d'eau. Ce sont de véritables *vallées sèches* à pentes arrondies, qui existent sur la côte ouest du Pérou, et dans quelques autres lieux. Il faut nécessairement attribuer leur érosion à l'action des eaux de l'Océan qui en sont voisines, et que des secousses intérieures auront pu porter avec violence sur ces contrées.

Quant aux grandes vallées qui ressemblent à des plaines ou à des bassins, qui commencent par un cirque, ou qui en forment plusieurs communiquant par des gorges resserrées, on suppose encore que de grandes dislocations leur ont donné naissance, mais on ne peut nier que l'eau, qui ensuite a rempli ces vastes bassins, n'ait joué un rôle très-actif dans leur configuration. Ces plaines circulaires sont évidemment le fond d'anciens lacs qui communiquaient les uns avec les autres, qui charriaient dans leurs bassins une grande quantité de matériaux qui ont fini par les combler, et dont la surface, maintenant traversée par un simple cours d'eau, encombrée par une foule de débris, se couvre d'une végétation vigoureuse.

L'origine première de ces vallées étranglées, ou plutôt de ces grands lacs qui leur ont donné naissance, paraît tenir à des causes particulières qui ont formé de grandes dépressions sur les continens, et qui sont dues à des phénomènes de dislocation et par suite d'affaissemens, ou à certaines conditions du refroidissement et de la solidification de la croûte de notre planète.

DES PLAINES ET DES PLATEAUX.

Tout le monde sait ce que c'est qu'une plaine, et cependant on se trouve très-embarrassé pour définir ce mot. Dans l'acception ordinaire, une plaine est une grande étendue de terrain qui n'est pas limitée par des montagnes, ni sillonnée par des vallées, en un mot, c'est un pays plat; mais il est difficile de tracer les limites entre un pays plat et un pays montueux. En général, cependant, une contrée conserve la dénomination de plaine quand elle n'est pas traversée par de hautes montagnes, quand bien même le sol serait sensiblement ondulé. Quant aux plateaux, on sait que ce sont les plaines qui sont situées sur des montagnes.

Les plateaux peuvent être très-unis ou légèrement ondulés. Ils peuvent offrir, comme les plaines, quelques éminences qui s'élèvent au milieu ou sur leurs bords; ils peuvent être arrosés par des cours d'eau, quoique cela arrive rarement; enfin, ils ont quelquefois une grande étendue. Tel est, par exemple, celui qui supporte le volcan d'Antisana à 4,105 mètres d'élévation, et qui a douze lieues de circonférence (1). Il existe au Thibet des plateaux presque aussi élevés et très-étendus, mais en général ils le sont beaucoup moins.

Nous avons déjà parlé des petites plaines enfermées entre des montagnes, et qui ne sont autre chose que des vallées à fond plat, comme la Limagne et la Bohême. Elles sont, en général, formées des débris qui se sont déposés au fond des eaux qui les couvraient autrefois. Un jour, les grands lacs de l'Amérique du Nord, dé-

(1) Humboldt, *Géographie des plantes*, p. 117.

barrassés de leurs eaux, formeront des plaines analogues. Mais ces larges vallées à fond plat ne donnent jamais que des plaines très-limitées, tandis qu'il existe sur certaines parties des continens des espaces immenses dont la régularité n'est dérangée que par de légères saillies, et qui s'élèvent même très-peu au-dessus de l'Océan.

Les véritables plaines sont, en effet, celles qui, d'un côté, sont bordées par l'Océan, car (à moins de chercher sur d'autres continens une chaîne de montagnes qui leur serve de limites) on ne peut plus assimiler ces plaines à de grandes vallées.

L'étude des plaines devient d'un grand intérêt pour le Géologue, si l'on fait attention que la plupart des chaînes de montagnes sont, comme nous le verrons plus tard, d'une date postérieure à l'apparition des continens, en sorte que ceux-ci ont dû s'élever d'abord de très-peu au-dessus des eaux. Ils devaient alors présenter une surface uniforme et marécageuse, car c'est au soulèvement des montagnes que les plaines ont dû les pentes plus ou moins fortes qu'elles ont acquises maintenant et qui permettent l'écoulement de leurs eaux.

Il existe encore des plaines très-étendues et très-basses sur les deux continens. Ainsi, en Amérique, où les plaines sont immenses et horizontales, les eaux n'ont presque pas d'écoulement; le peu de vîtesse des fleuves contribue à les élargir, et c'est à peine si l'élévation des Andes a donné de la pente à celles qui naissent au pied de ces montagnes. Les trois chaînes transversales de cette partie du monde sont séparées par des plaines toutes fermées vers l'ouest, et ouvertes vers l'est et le sud-est. Lorsqu'on réfléchit sur leur peu d'élévation au-dessus de la surface de l'Océan, on est tenté de les considérer comme des golfes prolongés dans

la direction du courant de rotation. Si les eaux de l'Atlantique, par l'effet de quelque attraction particuculière, se soulevaient, à l'embouchure de l'Orénoque, à 50 toises; à l'embouchure de l'Amazone, à 200 toises de hauteur, la *grande marée* couvrirait plus de la moitié de l'Amérique méridionale. La pente orientale, ou le pied des Andes, éloigné aujourd'hui de six cents lieues des côtes du Brésil, serait une grève battue par les eaux.

Aucune contrée, si ce n'est peut-être le nord de l'Asie, n'offre des plaines aussi étendues et aussi uniformes que celles de l'Amérique; aussi sont-elles périodiquement inondées par le débordement des fleuves.

En Asie, un immense terrain s'étend uniformément dans tout le nord du continent, et son élévation est si peu considérable, que les Chinois prétendent qu'il était caché par les eaux de la mer, et qu'il n'est émergé que depuis les temps historiques. Cette immense plaine se lie à celles de l'Europe, qui ont moins de développement, mais qui pourtant sont aussi très-grandes sur le littoral; et si l'on supposait une route des landes du Brabant aux steppes de l'Asie, par de hautes latitudes, au-delà des 60° et 65°, on trouverait des plaines continues sur une longueur qui égale presque la demi-circonférence du globe (1).

L'Afrique présente aussi des parties très-basses, comme l'Egypte, également soumise à des inondations périodiques, et qui n'est, à proprement parler, qu'une grande vallée dans laquelle coule le Nil. Une des plus vastes plaines de cette partie du monde est, sans contredit, le désert de Sahara, qui a une aire de 194,000

(1) HUMBOLDT, *Fragmens asiatiques*, t. II, p. 318.

lieues carrées de 20 au degré, et qui, par conséquent, offre une surface plus que double de celle de la Méditerranée.

Lorsqu'on prend un grand espace, par exemple, un continent tout entier, et que l'on cherche le rapport en étendue des plaines et des montagnes, en trouve que celles-ci n'occupent qu'une petite partie de la terre, car, dans l'Amérique méridionale, dont la surface est de 571,300 lieues carrées de 20 au degré, le rapport des montagnes aux plaines est comme 1 à 4; et toute la région à l'est des Andes a plus de 424,600 lieues carrées dont la moitié est en savanes couvertes de graminées (1).

La surface des plaines dont nous devons seulement nous occuper ici, est tantôt nue et tantôt recouverte de nombreux végétaux.

L'absence de l'eau semble être la cause de la stérilité de certaines contrées, comme cela a lieu pour les déserts de l'Afrique et de l'Asie. Si, dans quelques points de ces déserts, l'eau douce paraît, la végétation se groupe autour d'elle, et forme ce que l'on appelle un *oasis*, espaces plus ou moins grands dont le plus célèbre est celui de Thèbes. On le connaît sous le nom de *grand oasis*. L'étendue de son terrain fertile est de vingt à vingt-quatre lieues sur une largeur de trois à quatre.

Il paraîtrait que certains oasis avaient autrefois plus d'étendue qu'aujourd'hui; tel est, par exemple, celui qui paraît situé sur l'emplacement de l'ancienne ville *Oasis*, dont parle Hérodote. Soit que le sable du désert ait empiété sur les terrains fertiles, soit que les ruis-

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. X, p. 321.

seaux aient diminué, on remarque autour des champs cultivés, et jusqu'à une distance de 15 lieues, les ruines nombreuses de temples antiques situés aux environs de Syouah, et qui certainement n'avaient pas été bâtis dans des lieux aussi stériles.

Des espaces arides, et qui paraissent tout-à-fait l'opposé des oasis, se trouvent au milieu de certaines plaines fertiles, comme M. de Humboldt l'a observé dans les plaines délicieuses de la Mission de Carichana. « Ce qui donne à cette contrée un caractère particulier, ce sont des bancs de roches presque dépourvus de végétation, qui ont souvent plus de 800 pieds de circonférence, et qui s'élèvent à peine de quelques pouces au-dessus de la savanne environnante. Ils font aujourd'hui partie de la plaine. On se demande avec surprise si quelque révolution extraordinaire a emporté le terreau et les plantes, ou si le noyau granitique de notre planète se montre à nu, parce que les germes de la vie ne sont point encore développés sur tous les points. Le même phénomène semble se trouver dans le *Shamo*, qui sépare la Mongolie de la Chine. On appelle *tsy* ces bancs de roches isolés dans le désert. M. Humboldt pense que ce seraient de véritables plateaux, si les plaines d'alentour étaient dépouillées du sable et du terreau qui les recouvrent, et que les eaux y ont accumulés dans les endroits les plus bas (1). »

Les plaines offrent encore une singularité que nous ne devons pas passer sous silence, et qui aurait peut-être pu être indiquée en parlant des vallées; ce sont certaines dépressions qui s'observent à la fois sur les plaines et sur les plateaux; mais il nous a semblé que

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 368.

ces affaissemens du sol constituaient un ordre de phénomène tout-à-fait différent.

Ces dépressions existaient autrefois sur la plupart des plaines, et formaient autant de bassins fermés, occupés par de vastes amas d'eau. Maintenant plusieurs de ces bassins se sont ouverts par l'érosion de leur digue, et par la pression des eaux qu'ils renfermaient; plusieurs d'entre eux se sont mis en communication, et d'étage en étage ont versé leurs eaux dans la mer. Ce n'est pas ici le lieu de chercher si c'est bien réellement à la lente action érosive des eaux qu'il faut attribuer leur dessèchement, ou bien si le soulèvement de quelques groupes de montagnes n'a pas occasionné dans ces plaines une pente qui a changé des bassins fermés en bassins ouverts et étagés; ce que nous devons constater, c'est leur existence. Certes, l'exemple le plus remarquable est celui de la mer Caspienne, dont le niveau est bien au-dessus de celui de l'Océan. C'est la plus grande dépression connue, puisqu'elle occupe toute la partie centrale de l'Asie, et communiquerait même, selon le célèbre auteur qui nous a si souvent servi de guide, au sud de 51° $\frac{3}{4}$ de latitude, dans le parallèle d'Orembourg et de Saratow, avec les plaines où se trouve la ville de Jeneisseïk en Sibérie, et même avec celles qu'arrose l'Escaut, région dont la hauteur moyenne n'excède pas 40 à 50 toises. Il paraîtrait même que cette concavité de la Caspienne s'étendrait sous des dépôts de sédiment, jusqu'à Moscou d'un côté et jusqu'en Pologne de l'autre. Très-probablement de semblables dépressions se feraient remarquer dans un grand nombre de lieux, si des terrains de sédiment d'âge et de puissance différens ne les avaient pas comblés.

De vastes bassins fermés existent actuellement en Amérique, et le lac Titicaca en est le plus curieux exem-

ple. On peut y joindre le lac qui occupe le fond de la dépression de Mexico, et une foule d'autres disséminés sur toute l'étendue de ce continent.

Peut-être faut-il attribuer encore à des phénomènes analogues la formation des bassins des grands lacs de la Suisse. Il faut du moins y rapporter les bassins fermés de la Grèce, et enfin ces petites dépressions circulaires que présentent les grands plateaux basaltiques de l'Auvergne et d'autres contrées, et même les petits lacs arrondis qui existent encore sur les alluvions de la plaine du Forez.

Toutes ces cavités ne peuvent être dues aux mêmes causes; mais il en est deux qui ont puissamment contribué à former ces dépressions des plaines et des plateaux, c'est le soulèvement des chaînes de montagnes et le retrait qu'ont éprouvé, en se refroidissant, les matières pierreuses dont notre planète est composée.

Nous prévoyons déjà que des forces puissantes ont bouleversé la surface de la terre, puisqu'elle nous présente un si grand nombre d'inégalités. Des forces analogues ont dû agir aussi sur les autres planètes. Celles que nos instrumens nous ont permis d'étudier, nous ont offert aussi des plaines, des vallées et des montagnes. La lune, assez rapprochée pour que nous connaissions un peu sa topographie, a comme la terre de larges bassins et de hautes montagnes, de profondes dépressions comme celle de l'Asie, et des cirques comme la Bohême et l'île de Ceylan, des groupes comme les montagnes volcaniques du centre de la France, en un mot, une surface tellement tourmentée, qu'elle a, sans nul doute, été soumise comme la terre à des forces puissantes qui changeront peut-être encore le seul de ses hémisphères qu'il nous soit permis d'observer.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES ROCHES ET DES COUCHES.

Nous allons pénétrer dans l'intérieur du globe et examiner les différentes substances dont il est composé, l'ordre et l'arrangement de ses diverses parties, ainsi que leur âge relatif. Mais avant de nous ocuper de ces détails, nous devons prévenir que nous ne connaissons qu'une bien faible partie de l'écorce de la terre. En effet, nous ne pouvons étudier l'intérieur que dans les vallées et dans quelques déchirures, qui mettent à nu les parties les plus extérieures, le long des fleuves et des côtes, sur la crête des montagnes et dans les puits que les hommes ont creusés pour chercher certaines substances auxquelles l'usage a donné un grand prix. Or, les mines les plus profondes ne descendent pas à 500 mètres au-dessous du niveau de l'Océan, et les montagnes les plus élevées n'en atteignent pas plus de 8000. Ces montagnes sont tellement hautes, relativement à nous, que nous ne pouvons pas nous élever jusque sur leur cime qui, du reste, est cachée par des neiges éternelles, en sorte que la partie intérieure du globe ne nous est connue que sur une épaisseur de 7000 mètres au plus, moins de deux lieues sur 1500 de diamètre, ou comme nous l'avons déjà vu, comme l'épaisseur d'une feuille de papier sur une boule de 16 pieds. Qu'on veuille bien ne pas perdre de vue cette grande

vérité et nous en tenir quelque compte, en lisant ce qui va suivre.

Si nous prenons un livre quelconque, nous le trouverons composé d'un certain nombre de pages; chaque page est composée de lignes, chaque ligne de mots; enfin, ces mots sont formés d'un certain nombre de lettres. Ici s'arrête la décomposition; les lettres sont donc les *élémens* de ce livre. Il en est de même du grand livre de la nature. Tous les corps organisés qui sont à sa surface, toutes les substances inorganiques qui composent sa masse, soumises aux expériences multipliées des chimistes et à toutes les forces dont ils peuvent disposer, se transforment en un certain nombre d'*élémens* ou de corps simples.

Le nombre de ces corps est assez grand, puisque, dans l'état actuel de nos connaissances, il s'élève à 54, et probablement nous ne les connaissons pas tous. Peut-être aussi des découvertes ultérieures nous prouveront-elles qu'il doit être restreint, et que les métaux, par exemple, qui sont si nombreux, et qui jouissent de propriétés analogues, ne sont que des modifications d'une même substance. Mais, jusqu'à présent, nous n'avons aucun motif pour le croire, et nous admettrons comme élémens les corps dont les noms suivent :

*Aluminium, Antimoine, Argent, Arsenic, Barium, Bismuth, Cadmium, *Calcium, Cérium, Chrôme, Cobalt, Colombium, Cuivre, Etain, **Fer, Glucinium, Iridium, Lithium, *Magnesium, Manganèse, Mercure, Molybdène, Nickel, Or, Osmium, Palladium, Platine, Plomb, *Potassium, Rhodium, *Sodium, Strontium, Tellure, Thorium, Titane, Tungstène, Urane, Vanadium, Yttrium, Zinc, — *Azote, Bore, Brôme, *Carbone, **Chlore, Fluor, *Hydrogène, Iode, *Oxigène, Phosphore, Sélénium, *Silicium, **Soufre, Zirconium.

Un petit nombre seulement de ces élémens compose la croûte du globe, du moins jusqu'à une grande profondeur, l'atmosphère qui l'environne et les corps organisés qui vivifient sa surface ; ce sont ceux qui sont marqués d'un astérisque. D'autres, bien moins abondans, sont assez répandus ; ce sont ceux qui sont marqués de deux astérisques. Les autres sont de véritables raretés.

Rarement ces corps simples se trouvent à l'état de pureté, excepté ceux qui sont peu répandus dans la nature. Ils se combinent 2 à 2, 3 à 3 et 4 à 4, et rarement plus, pour donner naissance à tous les corps organiques et inorganisés. Ces derniers seuls doivent nous occuper.

Les élémens s'unissent en proportions définies, c'est-à-dire qui sont constantes et invariablement les mêmes. L'action par laquelle cette union s'opère s'appelle *combinaison*, le résultat est un *corps composé*. Deux composés peuvent aussi s'unir en proportions définies et produire un corps plus compliqué. De ces diverses combinaisons résultent les espèces minérales dont l'étude constitue la *Minéralogie*. Ces espèces se distinguent entre elles par deux caractères : la composition chimique et la forme cristalline.

Toute la croûte du globe est donc composée de minéraux, mais il en est de certaines espèces comme de certains élémens qui ne se montrent que de temps en temps et dans des circonstances particulières. Nous les négligerons pour le moment, et nous nous occuperons de celles qui, par leur abondance, jouent un certain rôle dans la nature. Les géologues désignent collectivement ces minéraux abondans sous le nom de *roches*.

Rarement les minéraux qui composent les roches sont à l'état de pureté. Le plus souvent plusieurs espèces sont mélangées de telle sorte que, dans ce cas, une

roche diffère entièrement d'une *espèce minérale*, qui est toujours le résultat de la combinaison en proportions définies de plusieurs élémens, tandis que la roche est le mélange en proportions indéfinies de plusieurs espèces. Ce mélange est le plus souvent assez grossier pour qu'on puisse reconnaître les minéraux composans à l'œil nu. Exemple : le *granit*, le *porphyre*. D'autres fois les roches, quoique formées de minéraux mélangés, ne laissent distinguer aucune de leurs parties.

Une grande dureté n'est pas, comme on le croit dans le monde, un caractère essentiel aux roches. La plupart le possèdent, mais il en est de très-tendres, comme l'*argile*, etc.

Enfin, en géologie, on entend par *roches* toutes les matières qui se trouvent en assez grande quantité pour jouer un rôle quelconque dans la structure du globe. Peu importe que les roches soient formées de minéraux simples ou par l'agrégation de plusieurs espèces, quelles soient dures ou seulement formées de sables, de cendres ou de matières incohérentes. L'eau, à l'état solide et même à l'état liquide, mais permanent, peut aussi être considérée comme une roche. On ne sait donc pas au juste où sont les limites de cette acception, et telle substance que l'on n'a pas encore trouvée en assez grande quantité dans la nature pour mériter ce nom, pourra s'y rencontrer bientôt en quantité plus que suffisante pour le recevoir.

Les autres détails dans lesquels nous pourrions entrer relativement à la structure, à la composition, aux espèces des roches, sont purement minéralogiques et appartiennent à une science très-étendue qu'il nous est impossible d'approfondir dans cet ouvrage. Nous avons traité cette matière, comme nous l'entendons,

dans un travail spécial sur la minéralogie (1), auquel nous renvoyons nos lecteurs, ainsi qu'au vocabulaire abrégé qui termine cet ouvrage.

DE LA MANIÈRE D'ETRE DES ROCHES DANS LA NATURE.

L'écorce terrestre est composée d'un certain nombre de roches qui quelquefois passent de l'une à l'autre par nuances insensibles, mais qui plus ordinairement sont assez distinctes pour qu'on puisse reconaître plus ou moins clairement les joints par lesquels elles se touchent. L'ensemble de ces joints constitue la stratification du sol, étude du plus haut intérêt dans l'histoire de notre planète.

Quand on a examiné avec beaucoup de soin un grand nombre de contrées, que l'on a bien étudié les vallées et les montagnes, que l'on n'a négligé aucun moyen de voir le sol privé de végétation, nu, déchiré, écorché partout où il pouvait l'être, on arrive soi-même à une remarque générale; c'est que certaines roches sont disposées en assises superposées, que l'on appelle *couches*, dont l'épaisseur, la direction et la composition varient à l'infini et en *masses* de formes très-variées, non divisées en couches, et qui souvent même servent de support à celles-ci, ou les traversent dans toutes sortes de directions.

De là deux manières d'être des roches dans la nature,

(1) *Élémens de Minéralogie appliquée aux Sciences chimiques, suivis d'un Précis élémentaire de Géognosie*, par Girardin et Lecoq, 2 vol. in-8°. Paris.—Thomine, rue de la Harpe, 78; et Baillère, rue de l'École de Médecine.

en *massifs* et en *en couches superposées*. Il y a donc des roches séparées par de grandes fissures continues, et d'autres qui n'en offrent pas; et comme on donne le nom de *terrains* à l'ensemble de toutes ces roches, il en résulte qu'il y a des terrains *stratifiés* et de non *stratifiés*.

Si l'on étudie minéralogiquement la structure et la composition de ces différentes roches, on trouvera de grandes différences entre celles qui forment les *massifs* et celles qui s'étendent en couches. Les premières sont généralement composées de minéraux durs et cristallins, qui semblent s'être mélangés lors de leur création, dont toutes les parties, fortement adhérentes, ne sont liées par aucun ciment, mais se pénètrent mutuellement et doivent leur dureté à un enchevêtrement de cristaux de nature différente. Les secondes sont formées de minéraux tendres, peu adhérens, ou de fragmens liés par un ciment quelquefois très-visible et très-tenace. De là deux nouvelles dénominations qui peuvent les faire distinguer en terrains *cristallisés* et en terrains de *sédiment*.

On prévoit déjà que les premiers ont été fondus par une forte chaleur, et que les seconds ont été déposés au milieu des eaux.

D'autres indications viennent encore confirmer ces prévisions. Les premiers, entièrement cristallisés, ne contiennent, pour ainsi dire, jamais de débris de corps organisés; les seconds en renferment toujours. Les roches forment donc deux sortes de terrains : ceux qui sont en *masses cristallines et privées de corps organiques*; ceux qui sont en *couches de sédiment munies de débris organisés*.

Quoique ces divisions paraissent bien tranchées, bien absolues et bien précises, la nature se joue tellement

de tous nos petits arrangemens, que nous trouvons souvent des roches que nous ne savons où placer, et les savans systématiques sont parfois obligés, à leur grand déplaisir, de déplacer certains terrains pour les porter d'une catégorie dans l'autre. Nous verrons par la suite combien il est difficile de trouver le point de départ ou le niveau géologique de ces deux grandes divisions.

DES MASSIFS OU DES ROCHES NON STRATIFIÉES.

Ces roches peuvent se présenter sous différens aspects. Elles forment ordinairement la partie la plus inférieure du sol dans laquelle nous avons pu pénétrer, et servent de support aux roches stratifiées qui paraissent déposées dans de grands bassins. Elles occupent, par conséquent, presque toute la surface du globe, se montrent au jour sur un grand nombre de points, notamment vers les deux pôles, et sont recouvertes çà et là par des terrains stratifiés complètement différens. Des massifs appartenant à ces roches cristallisées ont pénétré tous les terrains à couches, se sont injectés à travers leurs assises, ou se sont fait jour par-dessus; ils se sont répandus à leur surface, comme ils l'ont fait souvent entre les couches, avant d'arriver au jour; ils ont coulé sur des terrains de sédiment, et, d'abord fondus par l'intensité de la chaleur, ils se sont peu à peu refroidis et consolidés. Considérant ce dernier mode de formation, on leur a donné aussi le nom de *terrains d'épanchement*, parce que, de nos jours encore, on les voit s'épancher des cratères volcaniques et s'étendre à la surface du sol. Ce dernier mode de création leur donne au premier abord, et seulement dans des circonstances très-limitées, quelques rapports avec les

terrains en couches ou de sédiment; mais on voit que cette espèce de ressemblance ne peut soutenir un examen sérieux. Ces roches ont donc formé d'abord la surface de la terre, et quand les sédimens sont venus combler leurs dépressions, elles se sont élevées en massifs ou en couches intercalées, ont dérangé la stratification des autres roches, ont bouleversé le sol, et, de nos jours encore, viennent couler et s'étendre sur les terrains les plus nouveaux.

Les roches qui les composent, quoique cristallisées pour la plupart, varient beaucoup dans leur composition. Ce sont des *granites*, des *amphibolites*, des *gneiss*, des *micaschistes*, des *porphyres*, des *trachytes*, des *basaltes*, des *laves* et probablement des *calcaires*. Ces massifs, quelle que soit la nature de la roche qui les compose, sont bien loin d'être exempts de fissures; ils en sont souvent criblés, et sans leur structure cristalline, sans l'examen de leur situation relativement aux autres roches, on pourrait souvent les confondre avec elles. Nous observerons qu'un des caractères qui les distingue est le *non-parallélisme* des fissures et souvent même leur entre-croisement. Du reste, on doit bien penser qu'une masse considérable qui a été fondue par une chaleur intense et qui se refroidit, doit nécessairement affecter par le retrait des formes très-variées et dépendantes d'un si grand nombre de circonstances locales ou accessoires, qu'il serait bien difficile de les prévoir et de les calculer. Ce qui va paraître bien singulier, c'est que les roches de sédiment offrent souvent le même genre de fissures, quand on considère chaque couche isolément. Nous allons examiner successivement les différens modes de disgrégation des roches non stratifiées.

Division en feuillets.—Un grand nombre de ces roches

se partagent en petits feuillets, dont les faces ne sont pas précisément parallèles, et qui semblent dus à des retraits que la masse aurait éprouvés en se refroidissant. Ces feuillets, loin d'être véritablement parallèles, comme ceux de certains schistes, se terminent en pointe, se croisent, se pénètrent et forment des joints de retrait que l'on rencontre bien souvent dans plusieurs *siénites*, dans des *gneiss*, des *micaschistes* et même dans quelques *calcaires*. C'est souvent la présence d'un minéral à cristaux aplatis qui occasionne cette division. Ainsi le *mica*, le *talc*, la *chlorite* la déterminent fréquemment.

La *division prismatique* est l'une des plus communes; on en reconnaît souvent des indices dans des *granites*, des *amphibolites*, des *porphyres*, surtout dans les *trachytes* et les *basaltes*. La roche est partagée dans toute son étendue en un certain nombre de prismes dont le diamètre est aussi variable que la hauteur. Tantôt ces prismes sont presque réguliers, à cinq, six, sept ou huit pans, tantôt les fissures se confondent sur certaines faces, s'éloignent sur d'autres, et les vides sont remplis par des prismes plus petits à trois ou quatre angles; on en voit de droits et d'inclinés, de courbes et d'arrondis. Les uns, formés de pièces articulées, se dessoudent avec une grande facilité; d'autres, d'un seul jet, s'élèvent à une grande hauteur.

Quelquefois la division précédente, mais plus régulière, vient compliquer celle-ci, et les prismes se partagent parallèlement à leur base en un grand nombre de plaques minces qui servent à couvrir les maisons. C'est ce qui arrive pour certains basaltes, pour plusieurs *trachytes* et *phonolites*. Cette division, évidemment produite par le retrait causé par le refroidissement, se fait aussi remarquer sur des roches qui ap-

partiennent aux sédimens, ou du moins qui sont dues à une action toute différente de la fusion. On voit des *gypses* et quelquefois des *calcaires* qui sont parfaitement prismatiques; des *argiles* le sont aussi d'une manière moins régulière, comme si le retrait opéré par l'évaporation de l'eau différait de celui qui résulte de la perte de la chaleur.

Division rhomboédrique. — On remarque assez souvent dans les granites et plusieurs autres roches cristallisées, des fentes qui affectent une certaine régularité, et qui, en se croisant sous certains angles, divisent les roches en rhomboïdes irréguliers ou en prismes à 4 pans dont la base est presque toujours inclinée. Au reste, ce mode de division appartient plutôt aux roches de sédiment qu'à celles qui nous occupent, et on en trouve des exemples très-fréquens dans les *grès* et les *calcaires*. Il faut, dans certains cas, beaucoup d'attention pour ne pas confondre ces fissures avec les véritables joints d'une stratification régulière.

La *division en boules* est aussi très-commune dans les roches cristallisées. Ainsi, on en trouve d'élégans exemples dans les *pyromerides*, les *diorites orbiculaires*, et on remarque une foule de modifications de cette espèce de division dans les *granites*, les *basaltes*. Elle tient peut-être à un commencement de décomposition de ces roches, mais elle est due principalement à des centres d'attraction qui se sont établis dans les roches encore fondues, et autour desquelles les parties sont plus denses et plus intimément combinées que sur les angles. Il semble que plusieurs centres semblables s'étant établis dans une grande masse fondue, certaines parties de la roche, sollicitées à la fois par plusieurs de ces centres et dans des directions contraires, soient restées immobiles par la compensation de ces forces et

soient dans un état de non-combinaison qui leur permet de se disgréger avec la plus grande facilité.

Quelques calcaires montrent aussi une tendance à se diviser en boules, ou plutôt en calottes sphériques et concentriques. Les mêmes forces attractives ont sans doute agi pendant leur consolidation.

Quelques autres modes de division se présentent encore dans les roches non stratifiées, telles que des fissures tout-à-fait irrégulières qui traversent de grandes masses de *granites*, de *protogynes* ou d'*amphibolites*; des joints parallèles et étendus que l'on observe dans le contournement et le plissement des *gneiss* et des *micaschistes*; les points de contact de certaines roches qui se présentent en grandes enveloppes recouvrantes à la manière des concrétions calcaires, mais qui forment quelquefois des montagnes entières, ou enfin des joints irréguliers comme ceux qui ont été formés à la fois par le refroidissement et le mouvement du terrain sur les coulées de lave des volcans.

DES COUCHES OU DES ROCHES STRATIFIÉES.

Quand une roche s'est déposée dans l'eau, quand aucune cause perturbatrice n'est venue troubler ce dépôt, il en résulte un lit horizontal ou légèrement onduleux qui s'est moulé sur le bassin et qui présente sensiblement la même épaisseur sur tous les points. Si les circonstances qui ont concouru à former cette couche se représentent de nouveau, une nouvelle couche en sera le résultat; une troisième pourra lui succéder, une quatrième, et ainsi de suite. Si, dans cette succession de dépôts, quelques circonstances viennent à changer périodiquement ou accidentellement, il en résultera aussi des variations dans le dépôt des sédimens, dont les

couches se ressentiront nécessairement de l'influence de ces anomalies.

Il est naturel que, dans un dépôt qui s'opère sans trouble et dans une eau tranquille, les matières les plus pesantes se précipitent les premières, et les plus légères à la fin; c'est aussi ce que l'on observe le plus souvent dans la nature. Des couches de grès ou de débris de roches préexistantes, d'un volume inégal, occupent le fond du bassin, et au-dessus se trouvent les calcaires, les argiles et les particules les plus terreuses qui étaient restées suspendues les dernières.

Plusieurs dépôts s'opérant successivement de cette manière, il ne pourra guère y avoir de limites tranchées entre leurs différentes époques. Le grès passera peu à peu au calcaire qui se mélangera avec lui, l'argile avant de se déposer pure entraînera du calcaire, puis enfin formera une couche séparée. Si à la fin du dépôt de l'argile, les mêmes causes qui ont charrié ces matériaux dans un grand lac se reproduisent encore, les grès se mélangeront à la partie supérieure de l'argile, puis viendra encore le calcaire, et ainsi de suite. Maintenant, que le lac se dessèche, qu'un ruisseau y creuse un ravin, et mette à nu la tranche de ce dépôt composé, on verra que les roches forment bien des couches, qu'il sera facile de distinguer à leur texture, à leur couleur, à leur grain, mais il n'existera entr'elles aucune limite tranchée. Dans ce cas cependant, la stratification sera parfaitement régulière. Souvent les roches sont tellement confondues, et se pénètrent si bien, que l'on est obligé de recourir à ces caractères secondaires pour déterminer la stratification; mais il est bien rare qu'elle ne soit pas indiquée par des zônes colorées, qui indiquent des dépôts différens, par des lits de cailloux ou de fragmens de même gros-

seur, et déposés sur une même ligne, par la situation de certaines substances accessoires qui se sont formées ou déposées pendant une période, et qui ont manqué dans une autre.

Lorsqu'il s'est écoulé un certain laps de temps entre la superposition de deux couches, elles sont alors beaucoup mieux séparées, lors même qu'elles seraient tout-à-fait de même nature.

La situation, c'est-à-dire la position des couches relativement aux terrains qui les supportent, leur direction, leur inclinaison, sont des caractères de la plus haute importance; c'est en quelque sorte l'histoire des terrains de sédimens bien plus que la détermination des roches qui les composent.

Les couches peuvent se trouver dans une situation naturelle, ou bien, ce qui est le plus fréquent, avoir subi des dérangemens postérieurs. Dans le premier cas, elles sont horizontales ou inclinées, mais l'inclinaison a certaines limites. M. Rozet, qui a fait plusieurs expériences pour la déterminer, a conclu de son travail :

1° Que des dépôts réguliers peuvent avoir lieu jusque sous l'inclinaison de 30°;

2° Que l'épaisseur du dépôt diminue à mesure que l'inclinaison augmente;

3° Que les matières les moins pesantes peuvent se déposer sur les surfaces plus inclinées que les autres;

4° Qu'un dépôt de cailloux peut se disposer en couches régulières sous une inclinaison de 15°. Il est probable que s'il s'exerce des actions chimiques dans le liquide, les dépôts doivent pouvoir se former sous une inclinaison encore plus forte. Ne voit-on pas, dans les cavernes, les stalactites composées de couches concentriques se former dans une position verticale?

L'inclinaison peut être beaucoup plus forte si, après le dépôt, des causes étrangères sont venues disloquer le bassin et déranger sa régularité, surtout si ce sont des roches en massifs ou non stratifiées, qui sont venues se faire jour à travers le sédiment, comme nous le verrons en parlant des soulèvemens. Les couches, dans ce cas, peuvent être très-inclinées, verticales, et quelquefois culbutées les unes sur les autres.

Il est donc très-essentiel de déterminer l'inclinaison des couches, c'est-à-dire l'angle qu'elles forment avec une couche idéale supposée bien horizontale, et il ne faut pas se laisser influencer par quelques inflexions ou ondulations que présentent presque toutes les couches inclinées; c'est l'inclinaison moyenne qu'il faut prendre. Il est aussi bien essentiel de connaître leur direction, c'est-à-dire le point de l'horizon vers lequel elles se dirigent et le rapport de cette inclinaison et de cette direction avec les montagnes voisines, ou avec les roches non stratifiées les moins éloignées, qui ont déterminé par leur apparition plusieurs des principaux caractères des roches de sédiment,

Ces couches stratifiées, considérées isolément, offrent, comme les roches en masse, des structures variées, et qui sont à peu près les mêmes, avec cette différence, que celles qui sont les plus rares dans les premières roches sont les plus communes dans celles-ci. Ainsi la division en feuillets parallèles, celle en masses rhomboédriques qui se rencontrent assez rarement dans les roches cristallisées, sont communes dans l'intérieur des couches, tandis que les structures prismatiques et feuilletées y sont beaucoup plus rares.

L'épaisseur des couches est encore un caractère dont il faut tenir compte; car s'il n'indique pas la cause qui a formé le dépôt, il donnera du moins la mesure des

forces agissantes, comparativement à celles qui ont produit les autres couches. La différence d'épaisseur se réduit souvent à très-peu de chose quand les couches sont de même nature; mais elle est quelquefois très-grande quand leur composition vient à changer. Lorsqu'il y a ainsi des couches puissantes et d'autres beaucoup plus minces qui alternent, on appelle les dernières des couches *subordonnées*. Ainsi, à Montmartre, les petites couches de marne qui séparent les assises de gypse ou pierre à plâtre, sont des couches *subordonnées*; et telle roche qui joue humblement ce rôle dans une localité peut l'imposer à son tour dans une autre; la marne subordonnée au gypse, à Paris, se présente comme roche *indépendante* dans la Limagne d'Auvergne, et le gypse lui est subordonné.

Quelles sont les causes qui ont modifié de mille manières ces différens dépôts? Quelles sont les cisconstances qui, à des époques déterminées et périodiques, ont amené des changemens analogues, des séries toujours semblables et si souvent répétées dans les dépôts de sédimens? Quelles sont les forces qui ont dérangé ensuite tous ces terrains, qui ont soulevé leurs parois, raviné leurs flancs et montré leurs tranches à découvert? Ce sont autant de graves questions que soulève à chaque instant l'étude de la géologie; ce sont ces nombreux pourquoi qui nous font remarquer cette immense distance qui nous sépare de la divinité, qui confondent notre orgueil et qui fortifient en nous ce sentiment profond et religieux qui rend le véritable naturaliste si soumis à l'immuable volonté de Dieu. Malgré notre faiblesse et nos petits moyens d'investigation, le Créateur a permis cependant que nous puissions apprécier de loin quelques-unes des grandes lois qui régissent l'univers, quelques-unes des forces qui ont agi si puis-

samment pour modifier notre imperceptible planète. C'est donc en étudiant l'action actuelle de ces forces que nous essaierons de faire quelques pas dans ce labyrinthe où l'analogie seule peut nous guider.

DE L'AGE DES ROCHES.

Lorsque des matières différentes se déposent lentement dans un bassin circonscrit, les plus pesantes, ainsi que tout le monde le conçoit, doivent atteindre le fond les premières. Si de nouveaux matériaux y sont charriés, ils se déposent encore. Si pendant vingt ans la même chose a lieu et qu'il se forme vingt couches, il sera facile de déterminer l'âge relatif de ces couches. Le bon sens indiquera que la plus nouvelle est celle qui s'est déposée la dernière, que la dixième est recouverte par dix autres, que le fond qui la supporte était créé avant le dépôt de la première, et ainsi de suite. Jusque-là on ne voit aucune difficulté; mais admettons que des dépôts analogues s'opèrent dans un autre bassin très-éloigné du premier et que nous soyons étrangers à ces dépôts, nous les trouvons tout faits en arrivant sur la terre. Nous appliquerons au second bassin le raisonnement du premier; mais si l'on nous demande quel est le plus vieux des deux bassins, nous n'aurons qu'un seul moyen de résoudre la question, c'est de les comparer. Or, si nous trouvons à peu près les mêmes couches, en nombre égal ou peu différent, si ces couches contiennent de petites assises subordonnées semblables à celles de l'autre bassin, si les corps étrangers renfermés dans ces couches sont sensiblement les mêmes que ceux qui sont contenus dans l'autre, lors même que le fond sur lequel elles reposent serait différent, nous en conclurons que les deux dépôts ont eu lieu à la

même époque géologique, et nous dirons qu'ils sont *parallèles*, c'est-à-dire que s'ils eussent pu communiquer, ils eussent été contigus et non superposés. On donne même ce nom de roches *parallèles* à des *couches différentes*, lorsque celles-ci se présentent dans les mêmes circonstances géologiques, lorsqu'elles sont placées entre d'autres couches qui indiquent positivement leur âge. Au reste, les géologues ont étrangement abusé de ce terme, car beaucoup de roches qu'ils regardent comme parallèles ont certainement été formées à des époques très-différentes, et nous n'avons aucun motif pour croire que des roches tout-à-fait semblables ne se soient pas déposées dans des temps très-éloignés et à des distances variables, quoiqu'on ne puisse nier que l'inverse ne soit généralement plus vrai. Ainsi, en comparant des dépôts presque semblables sur nos deux continens, rien ne nous prouve que ceux d'Amérique ne sont pas postérieurs ou antérieurs à ceux de l'Europe.

Malgré ces doutes, il serait encore facile de déterminer l'âge des couches, si les roches non stratifiées n'étaient pas venues se faire jour à tort et à travers, soulevant les unes, dérangeant les autres, et en en modifiant plusieurs par leur contact. De plus, ces roches sont sorties à toutes les époques et s'échappent encore du sein de la terre sous forme de lave, de telle manière qu'il devient parfois très-difficile d'établir les véritables relations des roches cristallisées et stratifiées. Si ces dernières offrent quelques couches parallèles, les autres présentent aussi le même cas, et en outre il doit y avoir de fréquens niveaux d'âge entre les roches cristallisées ou d'épanchement et les roches sédimenteuses, à tel point qu'à la rigueur le fond qui supporte une série de couches superposées pourra se trouver plus moderne et

avoir été injecté depuis le dépôt entre le fond ancien et le dépôt moderne.

Il existe cependant des caractères au moyen desquels on démêle tous ces accidens, et quoique ce travail présente quelques difficultés, comme on peut le supposer en lisant ces lignes, il offre au géologue un puissant attrait qui le soutient dans ses fatigues et lui fait surmonter tous les obstacles. Son but principal est de déterminer les grandes époques géologiques que l'on suppose avec peu de vraisemblance indépendantes les unes des autres et auxquelles on donne le nom de *formations*; elles passent cependant de l'une à l'autre par une foule de nuances, comme cela a lieu pour les roches elles-mêmes. Les formations sont formées par la superposition de plusieurs *terrains particuliers*, qui se reproduisent en une multitude de *dépôts locaux*, dans des lieux souvent très-éloignés.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES MATIÈRES MINÉRALES

ET DES DÉBRIS ORGANIQUES CONTENUS DANS LES ROCHES ET QUI S'Y PRÉSENTENT ACCIDENTELLEMENT.

Les roches, comme nous le savons, sont des substances minérales simples qui se trouvent en grandes masses dans la nature, ou plus souvent encore des mélanges de plusieurs minéraux qui semblent s'être formés en même temps et déposés sur une grande surface; mais il n'entre réellement dans la composition de toutes ces roches qu'un petit nombre de substances minérales, en sorte que celles-ci se trouvent disséminées dans les autres masses, et y sont comme accessoires ou accidentelles. C'est ainsi que se rencontrent tous ces échantillons de minéralogie que nous recueillons pour orner nos cabinets.

Ces matières se présentent de différentes manières dans l'intérieur des roches, savoir :

Disséminées. — Quand elles sont répandues çà et là dans l'intérieur de la masse. Il faut éviter, dans ce cas, de les confondre avec les parties constituantes ou essentielles des roches composées. Ce sont tantôt des paillettes, tantôt de petits grains, des cristaux, etc. Ceux-ci

sont dits *empâtés* quand ils sont enveloppés de toutes parts par les roches, et *implantés* quand ils sont seulement fixés par une extrêmité, tandis que le reste est libre dans les cavités préexistantes.

Nids. — Ce sont de petites masses ordinairement friables, n'affectant aucune forme régulière, qui se trouvent répandues çà et là dans l'intérieur des roches.

Rognons. — Ils diffèrent des nids en ce que généralement ils sont plus gros, arrondis ou réniformes, et formés par des matières solides.

Noyaux. — Ce sont de petites masses de formes diverses, mais servant assez souvent de centre à certaines matières qui se sont modelées autour d'eux.

Veines ou petits filons. — Ce sont de petites couches partielles, ou, comme leur nom l'indique, de petites veines, qui se montrent dans toutes les directions, qui se ramifient ou se divisent, s'écartent ou se suivent en lignes parallèles.

De quelque manière que les minéraux soient contenus dans les roches, ils servent toujours à les caractériser et aident même quelquefois à déterminer leur âge relatif. Mais une remarque essentielle à faire, c'est que la plus grande partie des espèces minérales sont contenues dans les roches cristallisées et non stratifiées; les autres en renferment beaucoup moins. L'étude de ces corps, leur rapport de gisement, c'est-à-dire la manière dont ils sont placés dans les roches, ont donné des notions assez positives sur leur âge relatif, et quoique certains minéraux aient paru à toutes les époques des dépôts de sédiment ou de l'intercallation des roches d'épanchement, il en est d'autres qui ne se sont montrés qu'à des époques précises, et dont l'âge a été parfaitement établi.

Dans un ouvrage spécialement consacré à la géog-

nosie, il conviendrait sans doute de passer en revue les principales espèces minérales, de décrire celles qui par leur mélange ou leur étendue composent toutes les formations et tous les terrains, mais une telle masse de détails sortirait du cadre que nous nous sommes tracé; nous nous contenterons de dire quelques mots des principales roches en parlant des terrains qu'elles forment, et nous renverrons, pour la description des roches et des minéraux, à des traités spéciaux, et à quelques articles du vocabulaire qui termine cet ouvrage.

DES DÉBRIS ORGANIQUES CONTENUS DANS LES ROCHES.

En fouillant dans le sein de la terre, on a été très-surpris de rencontrer des corps qui provenaient évidemment du règne organique, tels que des coquilles, des troncs d'arbres, des empreintes de feuilles ou de poissons, des ossemens de grands mammifères ou d'oiseaux, les restes de grands reptiles, des œufs, des insectes, et enfin les débris nombreux de tout le règne organique.

Quand ce fait, dont on a douté d'abord, a été bien constaté, on en a tiré cette conséquence toute naturelle, que les êtres organisés s'étaient montrés à la surface de la terre avant que celle-ci ne fût terminée, et que leurs dépouilles avaient été ensevelies dans ses couches à mesure qu'elles se déposaient.

On dut nécessairement chercher si toutes les roches renfermaient ces débris, et l'on reconnut un autre grand principe, c'est que les roches non stratifiées, les roches cristallisées, qui renferment un si grand nombre de minéraux, sont presque toujours dépourvues de dé-

pouilles organiques, tandis que les roches de sédiment, qui contiennent assez rarement des minéraux cristallisés, abondent en débris de toute espèce. On a donné le nom de *fossiles* à tous ces restes de la vie organique, et celui de *palœontologie* à la science qui s'en occupe. On voit déjà qu'il ne peut entrer dans notre plan de décrire tous ces fossiles, pour l'étude desquels une grande masse de connaissances devient nécessaire. Nous ne pouvons pas plus nous occuper d'anatomie comparée, que de minéralogie, que de botanique, de chimie, toutes sciences qui sont cependant nécessaires à celui qui veut étudier avec fruit la géographie physique de notre globe. C'est précisément parce que cette dernière science en résume une foule d'autres, qu'elle est à la fois si difficile, mais si belle et si attrayante. Nous devons cependant dire quelques mots des fossiles en général, ou de la palœontologie, avant de continuer l'examen des couches intérieures du globe. M. Deshayes, que l'on doit justement considérer comme un des savans qui ont le plus contribué à l'étude des débris organiques, donne du mot *fossile* la définition suivante :

Un corps organisé est celui qui a été enfoui dans la terre à une époque indéterminée, qui y a été conservé ou qui y a laissé des traces non équivoques de son existence (1).

Peu importe, dit M. Deshayes, que l'enfouissement du corps organique date d'hier ou de six mille ans, il est fossile du moment où on le trouve enfoui dans une roche. Tous les débris organiques sont bien loin de se conserver quand ils sont empâtés dans différentes matiè-

(1) Deshayes, *Coquilles caractéristiques des terrains*, p. 5.

res, où un grand nombre se pourrit sans laisser de traces d'existence. On remarque que l'eau a joué un grand rôle dans leur conservation. D'abord enveloppés par ce liquide, ces corps ont été soustraits à l'influence de l'air atmosphérique, et les dépôts qui les ont ensuite empâtés, les ont conservés jusqu'à présent et pour ainsi dire éternellement.

Les corps organisés fossiles ne s'offrent pas toujours dans le même état. Tantôt ils sont libres dans des couches de sables, de marne ou d'argile, et y sont conservés dans l'état où ils étaient lors de leur enfouissement; tantôt ils sont engagés dans des couches solides, où ils ont le plus souvent subi des altérations diverses.

« On nomme fossile pulvérulent ou pourri, celui qui non-seulement a perdu la matière animale qui réunissait ses molécules, mais a subi encore une autre décomposition, de laquelle résulte une désagrégation complète des molécules et la pulvérulence du corps fossile lui-même. »

« Si après la désagrégation la dissolution s'opère en entier, on ne trouve que l'empreinte ou le moule intérieur du corps fossile. On nomme *empreinte* la représentation de la surface extérieure, et *moule intérieur* la représentation d'une cavité, si ce corps en avait une. On peut trouver réunis pour un seul corps fossile, et son moule, et son empreinte; par exemple : Une coquille enfouie dans une couche durcie a été remplie de la pâte de cette couche, qui a pris en même temps l'empreinte de sa forme extérieure; la coquille étant dissoute après la solidification de la couche, laisse intact son moule intérieur, compris dans une cavité dont la surface est l'empreinte exacte de sa forme et de ses accidens extérieurs. »

« Lorsque la dissolution du fossile a eu lieu, et qu'il

s'est infiltré dans la cavité qu'il a laissé vide une matière étrangère, inorganique, qui s'y est moulée de telle sorte qu'elle représente avec la plus grande exactitude le corps fossile lui-même, on nomme *contre-empreinte* le résultat de cette opération, tout-à-fait comparable à celle d'un mouleur, qui d'un moule obtient une statue de plâtre absolument semblable à celle sur laquelle le moule a été fait. La contre-empreinte peut-être produite par des matières pulvérulentes tombées dans une cavité par une fente, et agglutinées entre elles par un ciment. Souvent elle est occasionnée par l'infiltration d'un suc pierreux, par une sorte de suintement dans la cavité qu'a laissé le corps. Dans ce cas, une cristallisation confuse et quelquefois géodique a toujours lieu. »

« Il ne faut pas confondre cet état cristallin avec la spathification, qni n'appartient qu'à certains corps fossiles qui présentent toujours la même structure, quelles que soient les circonstances où ils se sont trouvés pour devenir fossiles. Il y a de fortes présomptions pour croire que l'organisation donnée à ces corps par les animaux qui les habitaient, a eu une très-grande influence sur l'état particulier où on les trouve, quoiqu'ils se présentent toujours cristallisés. M. Deshayes ne pense pas qu'ils aient été dissous, puis remplacés par une matière étrangère ; il croit qu'étant poreux, leur imbibition d'un suc cristallin calcaire a pu déterminer un arrangement nouveau de molécules organiques, ou bien les a envahis, pour ainsi dire, de telle sorte, qu'elles n'ont pu s'opposer à la cristallisation, mais l'ont déterminée dans une forme constante. Les échinodermes fossiles offrent un exemple de ces corps spathifiés. On les trouve toujours cristallisés en lames rhomboïdales, lorqu'on les brise, quelle que soit la nature de la roche dans laquelle ils sont contenus. Ce fait

s'explique par la force de la cristallisation, qui est telle que les corps étrangers ne peuvent l'empêcher (1). »

On trouve une grande différence dans l'état de conservation des différens fossiles. Les uns sont les corps eux-mêmes qui ont été conservés et qui, dans ce cas, sont presque toujours altérés. Telles sont la plupart des bois, des lignites, le mammouth qui a été trouvé avec sa chair et ses poils au milieu des glaces de la Sibérie, etc.; les autres, imprégnés, comme nous l'avons dit tout à l'heure, par un suc pierreux, ont changé de nature et ont conservé leurs formes avec une exactitude quelquefois bien remarquable.

Tantôt les fossiles sont entiers, et quelques-uns, les coquilles surtout, ont conservé une partie de leur couleur; tantôt ils sont brisés et presque méconnaissables. Les squelettes, composés de parties plus dures, se sont généralement bien conservés; mais il est bien rare qu'ils soient intacts, les os en sont presque toujours dispersés. On trouve cependant des squelettes entiers, et l'on a été jusqu'à distinguer la place qu'occupaient les intestins de certains animaux, par la présence et la disposition de cailloux roulés qu'ils avaient avalés. Les excrémens fossiles se rencontrent aussi communément dans plusieurs roches de sédiment.

De la nature minérale des fossiles.

Diverses substances remplacent la matière qui formait les fossiles à l'époque de leur enfouissement, en sorte que leur nature est quelquefois entièrement changée. La roche et les débris qui y sont contenus peuvent

(1) Deshayes, *Coquilles caractéristiques des terrains*, p. 10.

être formés par le même minéral, mais le contraire arrive aussi assez fréquemment. Les deux substances pierreuses qui se substituent le plus souvent aux corps organisés sont la *silice* et le *carbonate de chaux*.

Les matières végétales sont plutôt transformées en *silice* qu'en *carbonate de chaux*, et cette transformation se fait si exactement pour certains troncs d'arbres, que l'on retrouve les pores, les vaisseaux vides au lieu d'être remplis, et que MM. Nicol et Witham sont parvenus à déterminer des bois pétrifiés par cet examen. Quelques fossiles animaux, comme un grand nombre d'*oursins*, de *radiaires*, de *polypiers* et quelques *coquilles univalves* sont aussi changés en *silice*. On trouve aussi, mais bien plus rarement, des coquilles bivalves.

Presque tous les mollusques sont changés en *carbonate de chaux*, et ce sont les fossiles les plus répandus.

Après ces deux sortes de pétrifications, les *charbonneuses* sont les plus communes et appartiennent aussi presque toutes au règne végétal. Les tiges et souvent les fruits sont changés en une matière analogue au charbon; quelquefois l'écorce seule a subi cette modification.

On trouve aussi des fossiles formés par le *fer hydraté* et par le *fer sulfuré*, qui est tantôt la pyrite ordinaire, tantôt la pyrite blanche. Quelquefois ils sont en *cuivre gris* ou en *cuivre carbonaté*, en *arragonite*, en *chaux fluatée*, rarement en *strontiane*, en *galène* et en *gypse*.

Du gisement des fossiles dans les couches.

Les pétrifications ne sont pas toujours distribuées également dans les roches, il y a, au contraire, de grandes exceptions. Tantôt elles occupent un espace limité où

elles sont entassées pêle-mêle; tantôt elles forment de grandes masses qui se reproduisent sur des espaces plus ou moins étendus; il arrive aussi que la roche n'est qu'un agrégat de fossiles. Le plus souvent il y a un certain ordre de superposition, de sorte que certains lits de la même couche en sont abondamment pourvus, tandis que d'autres en sont tout-à-fait privés. Lorsque dans un même dépôt il y a un grand nombre de couches, ce que nous venons d'observer pour des lits d'une même assise se reproduit à plus forte raison dans cette circonstance. Tantôt c'est dans la partie supérieure du dépôt que ces débris sont déposés, tantôt c'est dans les couches inférieures ou au milieu du terrain. Il semblerait que certaines roches favorisent leur dépôt, comme celui de la silice dans les couches de craie, de la houille dans les grès houillers, etc.

D'autres fois c'est la texture de la roche qui détermine le plus ou moins d'abondance des fossiles et leur distribution dans une couche.

Leur position peut encore donner des indications fort curieuses. Ainsi, un animal posé à plat dans le sens des couches et souvent un peu comprimé; des poissons, la bouche ouverte, prouvent qu'ils ont été successivement recouverts par des dépôts qui s'opéraient dans des eaux où leurs cadavres avaient été charriés. Des squelettes entiers indiquent aussi que les animaux qui les ont fournis vivaient près des lieux où ils ont été trouvés. Une foule d'observations minutieuses peuvent faire connaître si les débris organiques sont arrivés entiers ou décomposés dans le lieu de leur enfouissement.

On trouve des pétrifications à tous les niveaux possibles, quelquefois à une grande profondeur, d'autres fois sur des montagnes très-élevées; mais souvent aussi

les roches qui les contiennent ont été déplacées après leur dépôt.

De la distribution des fossiles.

Quand on compare soigneusement les fossiles contenus dans des roches d'âge différent, on remarque une très-grande différence dans leurs caractères. Ce ne sont pas du tout les mêmes débris que l'on rencontre dans les anciens et dans les nouveaux dépôts. Aussi, on se sert avec beaucoup d'avantage de la connaissance de leurs caractères pour déterminer l'âge des couches.

Dans les terrains modernes, c'est-à-dire, dans les roches de sédiment, qui sont très-rapprochées de la surface de la terre, on trouve que les fossiles se rapportent à des espèces actuellement vivantes; mais dans les terrains anciens, les espèces sont tout-à-fait distinctes; on ne peut les rapporter à aucune espèce vivante; ce sont les débris d'un ancien monde organique qui n'existe plus et dont nous essayerons, par la suite, de faire connaître quelques habitans.

Cependant, au milieu de cette abondance de débris, on distingue facilement, même parmi les espèces perdues, celles qui vivaient dans les eaux douces et à la surface de la terre, de celles qui habitaient les mers, et l'on partage ainsi très-naturellement les fossiles en deux classes, selon leur origine présumée.

On conçoit très-bien que certains dépôts ne contiennent que des espèces appartenant à l'une ou à l'autre de ces deux divisions; mais ce qui est plus difficile à expliquer et ce que nous devons seulement citer ici, c'est le mélange de ces deux sortes de coquilles dans un même dépôt. Ordinairement, il est vrai, les fossiles

d'eau douce occupent la partie supérieure, mais souvent aussi il y a plusieurs superpositions successives et quelquefois même l'ordre ordinaire est renversé.

C'est ici surtout qu'il importe de bien examiner l'état des fossiles pour deviner, s'il est possible, dans quelles circonstances ils ont été enfouis, s'ils ont vécu près des lieux où ils se trouvent, si des cours d'eau les ont charriés, et comment enfin il a pu se faire que des êtres aussi différens par leur habitation puissent se trouver réunis dans de communes catacombes.

Nous ne pousserons pas plus loin pour le moment les intéressantes considérations qui nous sont offertes par les fossiles. Nous aurons fréquemment à revenir sur ce sujet; d'abord en examinant les causes qui ont agi pendant le dépôt des roches de sédiment; ensuite en étudiant séparément les grandes formations qui recouvrent la terre, et enfin en nous occupant de la distribution géographique des êtres organisés aux diverses périodes d'existence de notre planète.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES CAVERNES.

Nous venons de voir dans les chapitres précédens, que toute la partie intérieure de la terre qui est accessible pour nous était composée de deux grandes classes de roches; les unes qui s'étaient déposées tranquillement sur une surface préexistante, les autres formant cette surface primitive, puis étant revenues percer et pénétrer dans tous les sens les couches régulières qui s'étaient formées par sédiment dans de grands lacs d'eau douce ou salée. De là deux sortes de terrains, ceux qui sont cristallisés et formés par injection ou épanchement; ceux qui ont été déposés par les eaux qui tenaient en suspension des débris arrachés aux terrains antérieurs.

On prévoit déjà que les roches cristallisées ont été fondues, et que celles qui ne le sont pas ne sont qu'un dépôt mécanique. Ces présomptions deviennent pour ainsi dire des vérités quand on songe que les premiers terrains sont remplis de minéraux cristallisés, tandis que les autres sont pétris de débris organiques. Il est bien évident que les corps organiques n'auraient pu vivre dans des matières fondues et que des cristaux insolubles dans l'eau n'auraient pu se former au sein de ce liquide.

Nous savons que les minéraux, comme les fossiles,

sont distribués très-inégalement dans les roches, et que la régularité, ou plutôt l'homogénéité d'une couche est souvent dérangée par de petits accidens, comme des veines, de petites fissures, des amas de minéraux, désignés sous le nom de rognons, nids, noyaux, etc. Mais ce qui arrive pour une couche isolément, a lieu souvent pour leur ensemble, et de grands dépôts formés par la superposition d'un grand nombre de couches sont dérangés par des causes diverses. La principale est, sans contredit, celle dont nous avons déjà parlé, l'apparition de roches cristallisées en masses, qui pénètrent et disloquent les couches de sédiment, et il faut encore y joindre l'action des tremblemens de terre, les effets des eaux et la puissance de quelques autres agens, dont nous essayerons par la suite de démontrer l'intensité.

Toutes ces causes, tantôt réunies et plus souvent séparées, ont produit dans divers terrains des cavités ou des fentes dont les dimensions sont extrêmement variables, et qui se sont formées à des époques quelquefois très-éloignées.

Plusieurs de ces cavités ont été remplies, soit par des injections, soit par des matériaux qui ont pénétré par des ouvertures extérieures. On donne à ces vides ainsi comblés les noms d'*amas*, de *filons* et de *fentes remplies*, et l'on réserve celui de *cavernes* ou de *grottes* pour celles qui sont vides en totalité ou en partie.

Ces dernières doivent seules attirer notre attention pour le moment, et nous reprendrons ensuite l'étude des *amas*, des *filons* et des *fentes remplies* qui dépendent de phénomènes particuliers.

Les cavernes sont quelquefois entièrement vides; mais le cas est rare. Ordinairement elles renferment des lacs, des ruisseaux ou enfin des cours d'eau sou-

terrains, dont l'histoire semble essentiellement se rattacher à leur formation, ou bien elles contiennent des ossemens fossiles enfouis dans une couche de limon ou enchâssés dans des concrétions de carbonate de chaux qui sont encore une production fort commune dans un grand nombre de grottes.

Tous les terrains présentent des cavernes ; mais ceux qui sont formés de roches dures et cristallisées en offrent beaucoup plus rarement que les autres, tandis qu'ils abondent en filons remplis.

C'est principalement dans les roches calcaires que l'on trouve les plus grandes cavernes; telle est celle de Caripe en Amérique, décrite par M. de Humboldt, et qui a 2,800 pieds de longueur; celle de la Balme, citée par Saussure, longue de 1,300 pieds. On en connaît en Saxe de beaucoup plus longues, qui ont plusieurs lieues d'étendue, et qui communiquent avec d'autres cavernes. On pourrait encore ranger parmi ces sortes de cavités le pont de l'Arc sous lequel coule la rivière d'Ardèche. Il est formé d'une arche à plein ceintre qui traverse un rocher calcaire de plus de 16 mètres d'épaisseur; sa hauteur est de 25 à 30 mètres, et sa largeur d'environ 60.

On connaît plusieurs voûtes de ce genre. M. de Humboldt a décrit le pont d'Icononzo, près de Bogota. On en cite également en Virginie, sur la rivière de James et dans plusieurs autres localités.

Les grandes cavernes offrent ordinairement une suite d'étranglemens et d'évasemens alternatifs, après des couloirs très-étroits où l'on peut à peine passer en rampant. Il n'est pas rare de trouver des excavations de plus de cent pieds en tous sens. Cependant le niveau de leur sol reste sensiblement le même pour la plupart d'entre elles. Quelquefois aussi il y a plusieurs

salles placées les unes sur les autres et dans lesquelles on ne peut pénétrer qu'au moyen d'échelles. On a décrit un grand nombre de grottes et de cavernes, et presque toujours on y a ajouté des choses merveilleuses, que des observateurs véridiques n'ont pas retrouvées. Mais en mettant de côté tout ce qui est exagération, les petits voyages souterrains que l'on entreprend pour la visite de ces cavités n'en sont pas moins intéressans et instructifs; aussi, plusieurs d'entre elles ont acquis une grande célébrité. Telle est, par exemple, celle d'Antiparos, située sur un îlot de l'Archipel.

« Cette île, dit Tournefort, quelque misérable qu'elle paraisse, renferme une des plus belles choses qu'il y ait peut-être dans la nature. »

« Une caverne rustique se présente d'abord, large d'environ trente pas, voûtée en arc surbaissé. Ce lieu est partagé en deux par quelques piliers naturels.... Entre les deux piliers qui sont sur la droite, est un petit terrain en pente douce. On a gravé en cet endroit, au bas d'un rocher dont la croupe est assez plate, l'inscription que l'ambassadeur Nointel y fit mettre en 1673..... On avance ensuite jusqu'au fond de la caverne, par une pente plus roide, d'environ vingt pas de longueur. C'est le passage pour aller à la grotte, et ce passage n'est qu'un trou fort obscur, par lequel on ne saurait entrer qu'en se baissant, et sans le secours de flambeaux. On descend d'abord dans un précipice horrible, à l'aide d'un câble que l'on prend la précaution d'attacher tout à l'entrée. Du fond de ce précipice, on se coule, pour ainsi dire, dans un autre bien plus effroyable, dont les bords sont fort glissans, et qui répondent, sur la gauche, à des abîmes profonds.

» Après tant de fatigues, on entre enfin dans cette

admirable grotte que M. de Nointel ne pouvait se lasser d'admirer avec raison.

» Le bas de cette grotte, sur la gauche, est fort scabreux; à droite, il est assez uni, et c'est par là que l'on passe pour aller à l'autel. De ce lieu, la grotte paraît haute d'environ quarante brasses (ou deux cents pieds) sur cinquante brasses (ou deux cent cinquante pieds) de large. La voûte en est assez bien taillée, relevée en plusieurs endroits de grosses masses arrondies, les unes hérissées de frontons, les autres bosselées régulièrement, d'où pendent des grappes, des festons et des lances d'une longueur surprenante.

» A droite et à gauche, sont des espèces de tours cannelées, vides la plupart, comme autant de cabinets pratiqués autour de la grotte. On distingue parmi ces cabinets un gros pavillon formé par des productions qui représentent si bien les pieds, les branches et les têtes de choux-fleurs, qu'il semble que la nature nous ait voulu montrer par là comment elle s'y prend pour la *végétation des pierres*.

» Sur la gauche, un peu au-delà de l'entrée de la grotte, s'élèvent trois ou quatre piliers ou colonnes de marbre, plantées comme des troncs d'arbres sur la crête d'une petite roche. Le plus haut de ces troncs a six pieds huit pouces, sur un pied de diamètre, presque cylindrique....

» Il y a sur le même rocher quelques autres piliers naissans qui sont comme des bouts de cornes. J'en examinai un assez gros, qui peut-être fut cassé du temps de M. Nointel; il présente véritablement le tronc d'un arbre coupé en travers. Le milieu, qui est comme le cœur ligneux de l'arbre, est d'un marbre brun, large d'environ 3 pouces, enveloppé de plusieurs cercles de différentes couleurs, ou plutôt d'autant de *vieux aubiers*

distingués par six cercles concentriques, épais d'environ 2 ou 3 lignes, *dont les fibres vont du centre à la circonférence*. Il semble que ces troncs de marbre végètent; car outre qu'il ne tombe pas une goutte d'eau dans ce lieu, il n'est pas concevable que des gouttes tombant de 25 ou 30 brasses de haut, aient pu former des pièces cylindriques terminées en calotte, dont la régularité n'est point interrompue....

» Au fond de la grotte, sur la gauche, se présente une pyramide bien plus surprenante, qu'on appelle l'*autel*, depuis que M. de Nointel y fit célébrer la messe en 1673....

» Cette pièce est tout isolée, haute de 44 pieds, semblable, en quelque manière, à une tiare relevée de plusieurs chapiteaux cannelés dans leur longueur, et soutenus par leurs pieds, d'une blancheur éblouissante, de même que tout le reste de la grotte. Cette pyramide est peut-être la plus belle *plante de marbre* qui soit dans le monde. Les ornemens dont elle est chargée sont tous en choux-fleurs, c'est-à-dire terminés par de gros bouquets mieux finis que si un sculpteur venait de les quitter.

» Au bas de l'autel, il y a deux demi-colonnes, sur lesquelles nous posâmes des flambeaux pour éclairer la grotte et la considérer à loisir....

» Pour faire le tour de la pyramide, on passe sous un massif ou cabinet de congélations, dont le derrière est fait en voûte de four. La porte en est basse; mais les draperies des côtés sont des tapisseries d'une grande beauté, plus blanches que l'albâtre. Nous en cassâmes quelques-unes, dont l'intérieur nous parut comme de l'écorce de citron confite. Du haut de la voûte qui répond sur la pyramide, pendent des festons d'une lon-

gueur extraordinaire, lesquels forment, pour ainsi dire, l'attique de l'autel.

» M. de Nointel, ambasadeur de France à la Porte, passa les trois fêtes de Noël dans cette grotte, accompagné de plus de cinq cents personnes.... Cent grosses torches de cire et quatre cents lampes y brûlaient jour et nuit.... L'ambassadeur coucha presque vis-à-vis de l'autel, dans un cabinet long de sept à huit pas, taillé naturellement dans une de ces grosses tours dont on vient de parler.

» A côté de cette tour, se voit un trou par où l'on entre dans une autre caverne, mais personne n'osa y descendre (1). »

La France contient aussi un assez grand nombre de ces cavernes. On en trouve dans plusieurs départemens : celui de la Dordogne, dont le sol est en partie formé par un calcaire analogue à celui du Jura, en renferme plusieurs très-intéressantes.

La principale, appelée la Grotte de Miremont, et située à peu de distance de Bagne, arrondissement de Sarlat, est plus habituellement désignée par les gens du pays sous le nom de *Trou de Granville*. L'ensemble de ses vastes excavations, qui offrent à peu près la forme d'un fer à cheval, présente dans son plan une suite de chambres ou de salles dont quelques-unes ont plus de 20 mètres et même 30 mètres de hauteur. On prétend qu'il faut près de sept heures pour parcourir la grotte dans le sens de sa longueur et en suivant seulement son axe. Outre quelques concrétions de formes très-variées, et auxquelles on a donné, dans le langage populaire, des noms plus ou moins bizarres,

---

(1) TOURNEFORT, *Voyage au Levant.*

on remarque avec surprise la régularité de plusieurs de ces salles dont le plafond, assez vaste, ne laisse apercevoir aucune inégalité. Ces différentes pièces ont reçu des dénominations particulières, déterminées par ce qu'elles offrent de plus curieux, ou par les usages auxquels elles semblent destinées : ainsi on traverse successivement la chambre des Gâteaux, celle des Coquillages, la salle du Marché, etc.; dans le plafond de toutes ces salles, comme dans l'intérieur des excavations qu'elles offrent en plusieurs endroits, et qui ont reçu le nom de cloches, on remarque de nombreuses incrustrations, des tubercules siliceux (quartz-agathe-pyromaque), recouverts d'un oxide de fer jaunâtre, et formant une suite de rameaux entrelacés dont l'effet général est très-agréable. C'est ce qu'offre de plus curieux en ce genre la grotte de Miremont, où l'on chercherait en vain ces brillantes stalactites que présentent avec tant de profusion les grottes de la Bourgogne et de la Franche-Comté, et celle de St-Robert dans le département de la Corrèze. On fait remarquer aux voyageurs, vers le milieu de celle que nous décrivons, une pierre assez étroite et longue d'environ 12 mètres, que les gens du pays appellent la *Tombe de Gargantua*; il y avait aussi, tout près de là, un ruisseau qui a disparu tout-à-coup, il y a quelques années, et dont le lit, extrêmement sinueux, frayé à travers des roches très-élevées, est aujourd'hui entièrement à sec (1).

Nous joignons à cette description un dessin qui pourra donner une idée des embranchemens et des ramifications des cavernes. (*Fig.* IX *et* X.)

---

(1) Allou, *Annales des Mines*, t. VII, p. 598.

Les terrains volcaniques ont aussi leurs cavernes qui sont quelquefois très-étendues; mais pour ne pas grossir ce volume de descriptions que l'on trouve partout, nous citerons seulement la grotte de Fingal.

« L'entrée de ce beau monument, dit Faujas, a 35 pieds d'ouverture, sa hauteur 55, et sa profondeur 140.

» Les colonnes verticales qui composent sa façade, *sont de la plus parfaite régularité;* elles ont 45 pieds d'élévation jusqu'à la hauteur de la voûte.

» Le ceintre est composé de deux demi-courbes inégales, et qui forment une espèce de ceintre naturel.

» Le massif qui couronne le toit, ou plutôt qui le forme, a 20 pieds dans sa moindre épaisseur; c'est un composé de prismes d'*un petit calibre*, plus ou moins réguliers, affectant toutes sortes de directions, étroitement réunis et cimentés en dessous et dans les joints par de la matière calcaire d'un blanc jaunâtre et par des infiltrations zéolithiques qui donnent à ce beau plafond l'aspect d'une mosaïque.

» La mer pénètre jusqu'à l'extrêmité de la grotte; elle a 15 pieds de profondeur, et, sans cesse agitée, ses vagues se brisent et se divisent en écume, en frappant avec fracas contre le fond et les parois de la caverne. Le jour pénètre en se dégradant, dans toute sa profondeur, avec des accidens de lumière d'un effet merveilleux.

» Le côté droit de l'entrée présente, à sa partie extérieure, un amphithéâtre assez vaste, formé par divers rangs de gros prismes tronqués, sur lesquels on peut facilement marcher; plusieurs de ces prismes sont *articulés*, c'est-à-dire convexes d'un côté et concaves de l'autre.

» Les prismes, d'un basalte noir extrêmement pur, et d'une grande dureté, ont depuis un pied jusqu'à

trois pieds de diamètre; on en distingue de triangulaires, de tétraèdres, de pentagones, d'hexagones; quelques-uns ont 7 à 8 pans. J'ai remarqué plusieurs gros prismes, sur la troncature desquels on reconnaît très-bien des ébauches de petits prismes, c'est-à-dire que ces prismes sont formés d'un basalte qui a tendance à se diviser lui-même en prismes; de manière qu'un gros prisme est composé d'ébauches de plusieurs petits.

» On peut entrer dans la grotte par le côté droit seulement, en suivant la plate-forme dont j'ai parlé; mais la voie se rétrécit, et la route devient bien difficile....

» A mesure qu'on approche du fond de la grotte, l'espèce de balcon hardi sur lequel on a cheminé, s'agrandit et présente un emplacement assez vaste, disposé en plan incliné, formé par des milliers de colonnes verticales tronquées.

» On arrive ainsi à l'extrêmité de la grotte terminée par un mur de colonnes d'un seul jet et d'une égale grandeur qui imitent un buffet d'orgues.

» Un fait digne de remarque, ajoute Faujas, c'est que lorsque M. Troïl visita la grotte, la mer, par un de ces cas extraordinaires qui n'arrivent pas tous les dix ans, était si calme, qu'elle lui permit d'entrer en bateau tout au fond de la grotte. Il trouva, un peu au-dessus de la surface de l'eau, une espèce d'antre d'où il sortait un bruit fort agréable à chaque fois que le gouffre absorbait l'eau. »

Les géologues ne sont pas plus d'accord sur la cause qui a creusé les cavernes que sur un grand nombre de phénomènes de la nature.

On les a attribuées à l'action de l'eau, qui aurait usé peu à peu le rocher, jusqu'à ce qu'elle se soit frayé un passage. On a cru avec plus de raison peut-être que des eaux chargées d'acide carbonique avaient opéré

une sorte de dissolution calcaire dont la grandeur des cavernes indiquait l'intensité et la durée. On a même voulu les expliquer par des soufflemens de gaz. On les a attribuées à la dissolution de sels ou de matières solubles renfermées par masses irrégulières au milieu des calcaires, soit enfin aux affaissemens des couches ou à leur retrait, quand elles passaient à l'état de siccité.

M. Parandier, qui a lu sur les causes de l'existence des cavernes un mémoire très-instructif à l'académie des sciences de Besançon (séance annuelle de 1833), n'admet aucune de ces hypothèses, sans cependant les exclure entièrement. On ne peut, dit-il, les attribuer à l'action corrosive des eaux actuelles, car l'observation de ce qui se passe chaque jour prouve d'une manière évidente :

1° Que loin d'aggrandir les grottes et les cavités, ces eaux y forment en général presque partout des dépôts plus ou moins considérables, et qui s'accroissent de jour en jour ;

2° Que l'agrégation de nos roches est telle que l'action érosive des eaux, lors même qu'elle serait compliquée de celle des cailloux et des sables qu'elles pourraient transporter, n'est pas assez sensiblement appréciable pour qu'on puisse lui attribuer des phénomènes aussi considérables que ceux dont il s'agit.

M. Parandier pense aussi que les soufflures, les affaissemens et les dissolutions n'ont pu produire des cavités que dans certaines circonstances très-rares.

Il attribue la formation de toutes ces cavernes à la combinaison des quatre classes de faits suivans :

1° L'état de résistance, de dureté ou de mollesse des diverses formations calcaires à l'époque des bouleversemens qu'elles ont éprouvés, et leur durcissement progressif depuis cette époque.

2° La température et la densité des eaux (déterminant, tout égal d'ailleurs, leur puissance de corrosion), à l'époque désignée, et la diminution progressive de ces propriétés dans la suite des temps;

3° Les soulèvemens qui ont eu lieu avant et pendant le retrait des eaux, et conséquemment les formes que ces soulèvemens ont données à la superficie du sol;

4° L'abaissement progressif du niveau des eaux, d'abord sur toute l'étendue d'une contrée, puis dans les vallées seulement, et les alternatives fréquentes et immenses de ce niveau.

Nous discuterons plus loin quelques-unes de ces causes présumées pour l'origine des cavernes, mais on doit voir déjà la vérité de ce que nous avons avancé, en disant que la nature avait toujours plusieurs moyens à sa disposition pour arriver au même but, et qu'il fallait prendre bien garde de trop généraliser.

Nous allons terminer ce qui est relatif aux cavités par l'examen des courans d'air et des cours d'eau souterrains.

CHAPITRE CINQUIÈME.

DES EAUX SOUTERRAINES.

On sait depuis long-temps qu'il existe presque partout des eaux souterraines qui forment, à une profondeur variable, des lacs, des ruisseaux et des rivières. Pline en cite plusieurs exemples, tels que l'*Alphée* dans le Péloponèse, le *Tigre* en Mésopotamie, le *Timavus* du territoire d'Aquilée, etc.

Ce phénomène se reproduit pour ainsi dire dans tous les pays, et principalement dans ceux qui étant formés de certaines roches calcaires, sont, par cela même, criblés de cavités plus ou moins profondes.

Presque toutes les cavernes qui sont un peu longues sont traversées par un cours d'eau qui peut-être leur a donné naissance. M. de Humboldt, qui a parcouru la fameuse caverne du Guacharo, dans la vallée de Caripe, sur une étendue de 1,458 pieds, a suivi le cours d'un ruisseau pendant ce long trajet, et arrivé à cette distance, il a rencontré une petite cascade souterraine (1).

La caverne de Adelsberg en Carniole, dans laquelle la rivière de Poick s'engouffre, et où ses eaux se per-

(1) *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 165.

dent et renaissent à plusieurs reprises, a déjà été visitée par les curieux, dans une étendue de plus de deux lieues. Un grand lac, qui ne pourrait être traversé qu'en bateau, a empêché jusqu'ici de pousser l'exploration plus loin. S'il faut en croire les récits des derniers voyageurs, plusieurs des nombreux compartimens dont cette caverne se compose surpassent en longueur, en largeur et en élévation les plus grandes cathédrales (1).

Un grand nombre de rivières pénètrent aussi dans l'intérieur du sol, disparaissent pendant un certain temps, puis reviennent au jour à une certaine distance. Tantôt elles sont absorbées par des lits de sable ou de gravier; tantôt, et plus souvent, elles entrent dans de véritables cavernes.

Ainsi, la Dromme, réunie à l'Aure dans le Calvados, disparaît entièrement au pied d'une carrière de calcaire compacte, à un myriamètre environ de la mer. Le trou dans lequel elle s'engouffre, et qui a 10 à 12 mètres de diamètre, est connu dans le pays sous le nom de *Fosse-du-Soucy*; mais il n'arrive là qu'une partie de ses eaux, le reste est absorbé par d'autres trous situés à peu de distance dans la prairie qu'elle traverse avant de disparaître définitivement. Sur le bord de la mer, on trouve à marée basse, un grand nombre de sources jaillissantes, que l'on regarde comme provenant du cours souterrain de la Dromme.

L'Aros dans les Pyrénées, à peu de distance de Serancolin, passe sous une montagne et reparaît de l'autre côté.

La Meuse disparaît à Bazoilles et reparaît à Noncourt, près de Neuf-Château, après un cours souter-

---

(1) Arago, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

rain de plus d'un myriamètre. M. Héricart de Thury a observé l'ancien lit qui est cultivé au-dessus du lit souterrain.

Le ruisseau de Villers-Coterets, département de l'Aisne, s'engouffre dans un entonnoir de 3 à 4 mètres de diamètre, dans lequel se perdent également tous les torrens qui descendent des hauteurs voisines, sans que cependant jamais il déborde.

La rivière de Lesse, en Belgique, entre aussi avec vîtesse dans une grande caverne, et en sort une demi-lieue plus loin. On peut pénétrer en bateau sous la voûte dont elle s'échappe, et l'on arrive ainsi à des cascades qui empêchent d'aller plus loin. J'ai vu distinctement dans la même vallée l'ancien lit de la rivière et d'autres grottes dans lesquelles elle s'engouffre aussi dans ses débordemens.

La Guadiana se perd dans un pays plat, au milieu d'une immense prairie. Voilà pourquoi les Espagnols, quand on leur parle avec éloge de quelque grand pont de France ou d'Angleterre, répliquent qu'il en existe un en Estramadure, sur lequel cent mille bêtes à cornes peuvent paître à la fois (1).

Le Rhône se perd et s'engouffre dans les cavités souterraines du défilé du fort de l'Écluse, où il coupe la chaîne calcaire du Jura. Dans les basses eaux, il disparaît en totalité pour reparaître à quelque distance de là.

Le Ceder-Creek, en Virginie, s'engloutit sous une voûte naturelle qui réunit deux montagnes escarpées, séparées par une fente de 277 pieds de profondeur.

On pourrait probablement citer aussi le fleuve Zaïre au Congo en Afrique. MM. Tuckey, Smith et Fitzmau-

(1) ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

rice ne virent pas sans surprise, dans leur malheureuse expédition, combien est petite la quantité d'eau qui se fait jour entre les rochers dans la partie resserrée de ce fleuve, lorsqu'on la compare à celle qui remplit son vaste lit, tant près de l'embouchure qu'au-dessus des cataractes. Suivant eux, une masse de liquide très-considérable s'écoule par un passage souterrain de plusieurs lieues d'étendue, et ne ressort qu'à *Pointe-Sondie*, où elle donne naissance à des tourbillons très-rapides, et qui dérangent le cours régulier du courant.

D'après une lettre du docteur Whito au docteur John Davy, il existe sur la côte de Céphalonie, à une demi-lieue environ de la ville d'Argostoli, près de l'entrée du port, quatre endroits où l'eau de la mer s'engouffre continuellement par des ouvertures du sol, et il en résulte un courant considérable. Ce phénomène est connu depuis long-temps des habitans, qui n'ont cherché ni à l'expliquer ni à en tirer parti. Un Anglais a fait, il y a plus d'un an, une tentative heureuse en employant la force d'un de ces courans pour faire tourner une roue de moulin. Au moyen d'une excavation artificielle, il s'est procuré une chute de deux pieds et demi, et l'eau s'écoule avec une vitesse de 15 pieds par minute, en présentant une section de 200 pouces carrés. L'écoulement dure, sans interruption, depuis cette époque, et M. Stephens a observé que les fortes secousses de tremblement de terre sont sans action sur lui.

Il arrive aussi que plusieurs filets et même plusieurs ruisseaux pénètrent dans l'intérieur du sol, s'y réunissent comme ils le font à sa surface, et enfin se rassemblent en une véritable rivière, qui sort tout-à-coup de cavernes inconnues. Telle est l'origine de la Sorgue qui forme la fontaine de Vaucluse. (*Fig.* III.)

Quand elle est le moins abondante, son produit se monte cependant encore, d'après les jaugeages de M. J. Guérin, à 444 mètres cubes d'eau par minute. A l'époque des plus fortes crues, elle fournit, dans le même temps, une quantité de liquide trois fois plus grande qu'à l'étiage, ou 1,330 mètres cubes dans son état moyen : l'observation donne 890 mètres cubes par minute, près de 13 cent mille mètres cubes par jour, et 468 millions de mètres cubes en une année, quantité à peu près égale à la masse totale de pluie qui, dans cette région de la France, tombe chaque année sur une étendue de 30 lieues carrées.

C'est sans doute aussi à des circonstances analogues qu'il faut rapporter l'origine de la belle fontaine de Nîmes.

Dans les grandes sécheresses, le produit de cette fontaine se réduit quelquefois à 1,330 litres par minute; mais qu'il pleuve fortement dans le nord-ouest de la ville, jusqu'à 10 à 12,000 mètres de distance, et très-promptement, d'après ce que M. Valz a écrit à M. Arago, une crue de la fontaine se manifeste, et à ce faible débit de 1,330 litres par minute en succède un de 10,000 litres, et malgré cette énorme augmentation de volume, la température de l'eau ne varie presque pas. En résumé, il pleut seulement au loin, dans la direction du nord-ouest, et la fontaine de Nîmes augmente; ainsi son eau vient de loin par de longs canaux, ce que confirme d'ailleurs la constance de sa température dans les crues les plus fortes et les plus subites. La crue succède à la pluie à de courts intervalles. Ainsi l'eau a franchi rapidement de grands espaces, ce qui n'est nullement le caractère d'une filtration, quelque perméabilité qu'on voulût d'ailleurs attribuer au ter-

rain ; la fontaine de Nîmes est donc alimentée par une ou plusieurs rivières souterraines (1).

Les bassins fermés de la Grèce, percés sur leurs flancs par de larges fentes qui donnent un prompt écoulement aux eaux, nous montrent un phénomène analogue à ceux que nous venons de décrire.

Non-seulement il existe, comme on le voit, de nombreux cours d'eau souterrains, mais on connaît aussi des lacs qui sont dans la même situation.

C'est ainsi qu'en 1792, on vit un lac se former subitement dans un faubourg de la ville de Lons-le-Saulnier. Plusieurs maisons s'y abîmèrent ainsi qu'une partie de la route de Lyon à Strasbourg. L'affaissement du terrain découvrit un lac souterrain qui était ignoré.

Dans un grand nombre de cavernes on trouve de vastes marres d'eau, qui empêchent de les parcourir ou de les utiliser. Le niveau de ces eaux peut même varier et quelquefois donner naissance à des phénomènes forts curieux, comme ceux que présente le lac de Zirchnitz dans les Alpes de la Carniole. Ce lac, qui a une lieue et deux tiers de long sur une lieue de large, s'emplit et se vide alternativement. Voici la description qu'en donne M. Roussel, voyageur anglais :

« Vers le milieu de l'été, au temps des plus grandes sécheresses, quand la neige a disparu du haut du lac, les eaux commencent à décroître. Si la sécheresse est grande et prolongée, le décroissement est rapide, et le lac est à sec en peu de semaines. Bientôt une riche végétation sort du limon abandonné par les eaux. Si l'été s'annonce bien, les paysans des environs ensèmencent le fond du lac en trèfle, en sainfoin, en luzerne ou

(1) Arago, *Annnaire du bureau des longitudes*, 1835.

simplement en graine de foin. Ils cultivent aussi le riz dans les parties plus élevées. Deux mois après, de hautes herbes ondulent sous le souffle des vents, là où des vagues s'agitaient sous les coups de la tempête ; et le chasseur poursuit le gibier aux lieux mêmes où, peu de temps auparavant, ses lignes faisaient la guerre au brochet avide. Au moment où les eaux du lac sont entièrement écoulées, on distingue parfaitement les canaux, ou plutôt les cavernes qui leur servent d'issues. Quelques-unes sont dans le fond même du lac, et d'autres sur les côtés. L'entrée de plusieurs d'entre elles est praticable, mais on ne peut avancer long-temps ; l'eau et le rétrécissement de ces conduits sont des obstacles insurmontables. Toutes ces cavernes ont une pente plus ou moins inclinée ; elles règnent également dans la partie méridionale du lac. Quand les pluies d'automne commencent à tomber, les eaux commencent à sortir de ces réservoirs souterrains ; et si les pluies continuent, les eaux jallissent avec une telle rapidité, qu'on les voit souvent lancer des brochets meurtris et défigurés par le choc qu'ils ont éprouvé contre les rochers qui garnissent l'intérieur de ces cavernes. Alors les oiseaux s'échappent, par volées, des touffes de verdure qui vont disparaître. Les cultivateurs retirent en hâte ce qui reste de grains coupés, et ce lac devient en peu d'instans une immense nappe d'eau.

» Le temps de l'émersion dépend de la sécheresse même de la saison. En 1821, par exemple, les eaux s'écoulèrent au commencement de l'été, reparurent à la fin de novembre et se retirèrent de nouveau à la fin de février 1822. Il faut remarquer qu'il n'avait pas plu depuis le commencement de janvier et que les neiges des montagnes étaient gelées. Quand l'été est humide, il arrive quelquefois que le lac ne se dessèche pas entièrement ;

preuve que ces sources ne sont pas souterraines, quoique les canaux qui les conduisent dans le bassin soient souterrains.

» Il ne paraît pas difficile d'expliquer ce phénomène; il ne mérite pas même l'étonnement des nombreux voyageurs et des naturalistes qui en ont parlé. Toute la chaîne des montagnes voisines se compose d'un calcaire poreux, au travers duquel pénètrent les eaux pluviales et celles qui proviennent de la fonte des neiges. L'intérieur de cette chaîne est coupé et traversé en tous sens par une suite de galeries et d'excavations dans lesquelles les eaux viennent se réunir, d'où elles poursuivent leur course jusqu'à ce qu'elles trouvent une issue, comme dans la vallée de Planina ou dans le lac de Zirchnitz. L'immense quantité de poissons qui se retirent avec les eaux de ce dernier, et qui reviennent avec elles, prouve que les réservoirs souterrains, dans le sein de la montagne, sont assez étendus et assez profonds pour qu'ils y puissent vivre et prospérer.

» Quant aux canaux d'écoulement, il est impossible de les suivre, et par conséquent d'établir rigoureusement le point où ils déchargent leurs eaux; mais on peut arriver à des conjonctures qui ont toute l'apparence d'une démonstration, et on observe que tout le pays, à partir des frontières du nord de la Carniole, jusqu'aux rivages de l'Adriatique, et des grottes de Planina jusqu'aux sources du Timavo, est plein de courans qui sortent subitement du sol et qui annoncent par conséquent une marche intérieure souterraine, que rien n'empêche de rattacher à l'écoulement du lac de Zirchnitz. »

Quelques-unes des ouvertures par lesquelles les eaux sortent des cavernes, donnent aussi issue à des canards

qui ont été entraînés dans les grottes, lors de la rentrée des eaux. Comme ceux que l'on a retrouvés depuis dans quelques cavernes, ils sont aveugles et presque entièrement nus. La faculté de voir leur vient en peu de temps, mais ce n'est guère qu'au bout de deux ou trois semaines que leurs plumes, toutes noires, excepté sur la la tête, ont assez poussé pour qu'ils puissent s'envoler.

Valvasor visita le lac de Zirchnitz en 1687; il y prit lui-même un grand nombre de ces canards, et vit les paysans pêcher des anguilles qui pesaient 2 ou 3 livres, des tanches de 6 à 7 livres, enfin, des brochets de 20, de 30 et même de 40 livres.

C'est dans les mêmes eaux souterraines de la Carniole que l'on a trouvé le *proteus anguinus*, animal si singulièrement organisé, et dont le muséum d'histoire naturelle de Paris possède une copie en cire parfaitement exécutée.

Si nous joignons à ces nombreux exemples ceux que nous offre tous les jours le percement des puits artésiens, nous resterons convaincus qu'il existe à des profondeurs variables, dans l'intérieur du sol, des nappes d'eau quelquefois superposées, de vastes amas, de véritables rivières souterraines, qui souvent sont en communication directe avec le sol extérieur, mais qui peuvent aussi, dans certains cas, en être entièrement séparées.

Les cavernes ne contiennent pas seulement de l'eau liquide, elles en renferment aussi à l'état de glace, et l'on connaît plusieurs de ces *glacières naturelles* qui sont citées comme des merveilles dans plusieurs ouvrages de géographie physique.

Nous avons déjà parlé de la caverne de Fondeurle, dans laquelle M. Héricart de Thury trouva de beaux prismes hexaèdres. Nous allons en donner quelques

autres exemples extraits d'un mémoire que M. Deluc a publié sur cet objet (1), et nous commencerons par celle de la Chaux, située à six lieues de Besançon, sur laquelle on a écrit plusieurs fois (2).

« On descend dans cette grotte par une rampe très-rapide de 64 toises de longueur, 22 toises de largeur, sur 31 toises de chute. Les premières vingt-six toises de cette rampe sont entièrement à découvert et par conquent exposées à toutes les intempéries de l'air. Le reste est recouvert d'une voûte à peu près elliptique et formée d'un seul rocher. La hauteur de la voûte est de 11 toises environ. Du pied de la rampe au fond de la grotte, il y a 22 toises d'un sol d'abord horizontal, puis se relevant et se terminant comme le fond d'un sac. Ainsi, la partie de la grotte qui se trouve à couvert a 68 toises de longueur; vers son extrêmité inférieure, elle est surmontée d'une épaisseur de terrain de 24 toises. Au travers de ce terrain, qui est un rocher, il n'y a aucune communication avec l'air extérieur, et M. de Cossigny, qui passa plusieurs heures dans cette cavité glacée, et à différentes reprises, ne parle d'aucun courant d'air. L'air y est donc tout-à-fait stagnant, et une fois qu'il y aurait là une masse de glace, elle ne pourrait se fondre que très-lentement; car la glace accumulée communique la température froide à l'air immobile intérieur et au terrain environnant, comme cela arrive dans les glacières artificielles bien construites.

« M. de Cossigny, qui visita cette grotte deux fois

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXI, p. 113.

(2) Voyez le Mémoire de M. Girod-Chantrans, *Journal des Mines*, nº XXI; Lettre de M. de Croismare, en 1731; Lettre de Cossigny à Réaumur, du 29 novembre 1743.

en 1743, aux mois d'août et d'octobre, remarque qu'en tout temps le sol du fond est une nappe entière de glace, et que le terrain du bas de la rampe est très-dur, parce qu'il est gelé. Il y avait cependant un peu d'eau claire en quelques endroits au-dessus de la glace. Cette eau pouvait provenir de celle qui dégoutte de la voûte par filtration; car M. de Cossigny, pendant qu'il prenait ses notes, recevait souvent sur les mains et sur son papier de larges gouttes d'eau qui tombaient de divers endroits de la voûte.

» Pendant les observations qu'il fit dans ses deux voyages, son thermomètre était monté d'un demi-degré depuis le matin. M. de Cossigny remarqua que des masses de glace qui étaient dans l'intérieur le 7 août, étaient fondues en octobre, ce qui prouve que la glace ne s'y forme pas en été plus qu'en hiver, comme on l'a affirmé pour d'autres glacières naturelles.

» Il n'y a aucune source dans cette caverne; elle ne reçoit d'autres eaux que celle qui dégoutte de la voûte, et celle qui coule par la rampe dont une partie est à découvert, en sorte que cette partie reçoit, chaque année, assez d'eau des pluies et des neiges qui se fondent dans la saison et qui ne peuvent se rendre ailleurs que dans la grotte, où l'air est assez vif pour la glacer. On n'a jamais enlevé, observe M. de Cossigny, et on n'enlève point assez de glace pour faire une diminution sensible à ce que tant de pluies, de neiges et de filtrations fournissent de tous côtés dans cette grotte depuis des milliers d'années; d'où il conclut qu'une partie de l'eau qui s'y rassemble doit s'échapper par-dessous, en filtrant dans la terre.

» M. de Cossigny visita de nouveau cette caverne le 22 avril 1745; il y fit deux observations de thermomètre, l'une à cinq heures du matin, et l'autre à

midi. Dans la première, le thermomètre se fixa au terme de la glace, et dans la seconde, à un degré au-dessus. L'auteur termine sa lettre en disant que l'état intérieur de la caverne ne change pas notablement de l'hiver à l'été ; que le degré de congélation y règne continuellement : en sorte qu'il n'est pas surprenant que la glace s'y accumule. Il survient seulement, par intervalles, de petits dégels qui produisent un peu d'eau fluide venant des pyramides de glace ou des gouttes d'eau qui tombent de la voûte, tandis que le sol de la caverne est d'ordinaire une nappe de glace.

» Lorsque M. le professeur Prévost visita cette grotte, au milieu d'août 1769, tout le fond, depuis le pied de la rampe jusqu'aux lieux où le sol s'élève, était recouvert d'un pavé de glace solide, dans lequel s'ouvraient de petits puits où l'eau paraissait voisine du point de la congélation. Ces puits, ou plutôt ces creux étaient formés par la stillation des eaux supérieures qui entretenaient, par leur chute lente mais continuelle, ce magasin d'eau et de glace. En sondant un de ces puits, la hauteur de la glace sur le sol parut être d'environ un pied. M. Prévost remarque que l'ouverture de la caverne étant tournée vers le nord presque plein, tirant un peu vers l'est, elle est exposée, en hiver, aux vents glacés qui soufflent de ce rhumb.

Après avoir décrit celle des glacières naturelles qui a été examinée avec plus de soin, et sur laquelle il ne peut rester aucun doute quant à la cause qui forme la glace dans son intérieur, M. Deluc en décrit deux autres, et commence par celle de Saint-George, située dans le Jura, à la hauteur de 427 toises au-dessus du lac de Genève.

« C'est une cavité profonde d'environ 25 pieds, dans laquelle on descend par deux ou trois échelles, dont la

première est droite, et dont l'autre ou les deux autres sont inclinées comme le terrain sur lequel elles reposent. L'on arrive, au bas de ces échelles, dans une espèce de salle dont la voûte est formée par des couches qui se rencontrent sous différens angles. Lorsque M. Colladon, pharmacien de Genève, visita cette glacière le 4 octobre 1807, il y avait beaucoup de neige à l'entrée perpendiculaire la plus en butte aux vents. De même, à la fin de juillet 1822, il y avait un monceau de neige au pied des échelles. Dans les deux occasions, cette neige s'était conservée depuis l'hiver précédent, malgré les chaleurs de l'été. Quand on a fait quelques pas dans cette cavité, sur un terrain pierreux, on marche sur une glace très-épaisse, qui est renfermée dans un profond bassin. La longueur de la surface glacée était, lors du voyage de M. Pictet (le 7 juillet 1822), de 75 pieds, et la largeur moyenne de 40 pieds ; le thermomètre se maintenait à + 1° vers le milieu de la grotte, à deux pieds au-dessus de de la surface de la glace. Le mur naturel qui contient la glace à droite est presque vertical.

On voit que cette glacière est une espèce de puits dont le fond est beaucoup plus étendu que l'ouverture. Avec une telle conformation, on ne conçoit pas comment un courant d'air pourrait s'y établir; aussi M. Pictet n'en aperçut-il aucun. Une glacière artificielle ne pourrait pas être mieux placée, pour que la glace pût s'y conserver, car une condition essentielle pour cette conservation est que l'air ne s'y renouvelle pas, afin qu'il garde tout le froid que l'hiver et la glace formée lui communiquent. La neige qui s'engouffre à l'entrée de cette grotte pendant l'hiver, et dont une partie paraît y rester toute l'année, contribue avec la nappe de glace à maintenir dans l'intérieur la tempé-

rature de la congélation, en sorte qu'il arrive quelquefois en été, que, pendant la nuit, les morceaux de glace que l'on coupe et qu'on laisse en contact, se trouvent adhérer entr'eux. Cette glacière, par sa position dans un creux profond, dans un sens vertical, a beaucoup de rapport avec celle de Besançon, et il est clair, par conséquent, que c'est par les mêmes causes que la glace s'y forme et s'y conserve; le froid qui y règne en été n'est pas plus extraordinaire que celui qui règne dans une glacière artificielle; c'est la glace formée qui retient pour ainsi dire prisonnier le froid de l'hiver.

« La troisième glacière naturelle dont nous devons nous occuper est celle du Mont-Vergi, située à une hauteur d'environ 800 toises au-dessus du niveau du lac. Son entrée est une voûte surbaissée, qui a 43 pieds de largeur à sa base, et 17 pieds de hauteur. Depuis l'entrée, la cavité s'élargit beaucoup, l'excavation a 122 pieds de longueur; on y descend par un plan incliné en pente douce, au bas duquel est une esplanade horizontale de glace vive, de 70 pieds de longueur sur 30 de largeur : vers le fond, cette glace monte en pente contre le rocher qui termine la grotte. La température, à un pied au-dessus de la glace, était à +1°, 2. Tel était l'état de la glacière lorsque M. le professeur Pictet la visita le 17 juillet 1822; voici maintenant ce qu'elle présenta à M. Colladon, lorsqu'il y monta le 21 juillet 1807. Je copierai ses propres paroles, tirées d'un mémoire manuscrit.

« A droite, à quelques pieds de l'entrée, on voyait une petite étendue d'eau, qui pouvait avoir un pied dans sa plus grande profondeur; l'eau nageait sur un fond de glace très-dure, dont on ne pouvait connaître l'épaisseur. On descend de 2 ou 3 pieds depuis l'en-

trée jusqu'au bord de l'eau : deux thermomètres, dont l'un a été placé dans l'eau, et l'autre à quelques pas de l'entrée, près de terre, accusaient zéro. Au fond, contre les parois de la grotte, on voyait quelques stalactites d'une glace très-belle ; nous n'aperçûmes aucun courant d'air, aucune communication dans le fond de la glacière avec l'air extérieur : » ce qui se conçoit facilement, puisqu'elle est creusée dans une masse de rochers qui appartient à la masse centrale de la montagne. L'observation de M. Colladon est positive ; ainsi donc il n'y a dans cette grotte d'autre ouverture que la voûte surbaissée par laquelle on y entre ; elle est, comme les deux précédentes, placée de manière à ce que l'air ne puisse s'y renouveler que très-lentement ; ce n'est donc pas à des vents froids particuliers qui traverseraient cette grotte, que l'on peut attribuer la formation et la conservation de l'esplanade horizontale de glace qu'on y observe ; il n'y a d'autres causes que le froid des hivers, qui sont très-rigoureux et très-longs à la hauteur où cette glacière est située. »

« Il paraît que, dans les trois glacières dont nous venons de nous occuper, il y a un fond plat, ou plutôt creux, où les eaux peuvent former un étang plus ou moins profond, et d'où par conséquent elles ne peuvent pas s'écouler ; c'est là qu'elles se gèlent en hiver, et comme ce sont des endroits renfermés où l'air ne peut pas circuler, les chaleurs de l'été ne peuvent y pénétrer que très-faiblement. La glace une fois formée dans de telles cavités, ne se fond que très-lentement, car l'on sait qu'en se fondant, elle absorbe 60 degrés de chaleur ; et où trouver cette chaleur dans un air toujours glacé, et presque immobile ? Par un froid rigoureux, la glace se forme avec une très-grande

promptitude, tandis qu'elle se fond avec beaucoup de lenteur, lors même que la température de l'air est de plusieurs degrés au-dessus de zéro. Quelle ne doit donc pas être cette lenteur, lorsque la température de l'air intérieur ne s'élève en été que d'un degré au-dessus du point de la congélation. Il faudrait plusieurs étés pour fondre cette glace, lors même qu'elle ne se reformerait pas chaque hiver. »

Quoique l'origine de la glace contenue dans ces cavernes soit due, comme le dit M. Deluc, au froid des hivers, il ne s'ensuit pas qu'il ne s'en forme pas aussi par une évaporation rapide. On en a cité plusieurs fois des exemples; et il en existe de très-remarquables dans quelques cavités de la lave du puy de Côme, en Auvergne.

Ceci nous mène naturellement à parler des courans d'air froid que l'on observe dans certaines cavités.

CHAPITRE SIXIÈME.

DES COURANS D'AIR DANS LES CAVERNES.

Plusieurs grottes, et quelquefois de simples fentes, laissent échapper des courans d'air qui ont souvent occupé les naturalistes, mais dont la théorie paraît maintenant parfaitement établie.

Saussure cite, dans ses voyages, plusieurs de ces caves à air froid. Il commence par celles du mont Testaceo à Rome. L'abbé Nollet les observa dans son voyage en Italie, et trouva leur température de 9 degrés $\frac{1}{2}$, le 9 septembre 1749, tandis que le thermomètre en plein air était à 18, et il remarque que leur fraîcheur est d'autant plus étonnante, qu'elles ne sont point profondes; que l'on descend à peine pour y entrer, et que le soleil frappe pendant une grande partie du jour la porte par laquelle on y entre.

Saussure observe qu'il les trouva, lui-même, encore plus fraîches lorsqu'il les visita le premier juillet 1773. L'air extérieur était à 20 degrés $\frac{1}{2}$; celui d'une de ces caves était à 8; celui d'une autre à 5 $\frac{2}{3}$; et celui d'une troisième à 5 $\frac{1}{4}$. Ces caves sont adossées à la montagne, et occupent presque toute sa circonférence. Les murs du fond sont percés de soupiraux par lesquels entre l'air froid, qui vient lui-même des interstices que laissent entre eux les débris d'urnes, d'amphores et

d'autres vases de terre cuite dont cette petite montagne (d'environ 300 pieds de hauteur) paraît entièrement composée (§ 1405).

Il est encore plus étonnant que, sous un climat plus méridional (celui de Naples) et dans une île comme celle d'*Ischia*, toute volcanique, toute remplie d'eaux thermales, il se trouve un semblable vent frais dans une grotte. Le 9 mars, le thermomètre, à l'ombre, était de 14 degrés; au fond de la grotte, Saussure observa qu'il descendit à 6; et on lui dit que dans les grandes chaleurs il serait descendu encore plus bas. A Ottaiano, au pied du Vésuve, il y a une grotte semblable.

A Saint-Marin, dans le duché d'Urbin, il y a des caves froides au pied d'une sommité de grès sur laquelle est bâtie cette ville. Le 9 juillet, le thermomètre, qui était à 13 degrés en plein air, descendit à 6 dans les caves, qui sont à près de deux mille pieds au-dessus du niveau de la mer (§ 1407).

A Cesi, qui est à six milles au nord de Terni, dans l'État Ecclésiastique, il y a des caves qui sont adossées à un rocher calcaire dont les crevasses laissent échapper un air froid qui en sort avec tant de force qu'il éteignait presque les flambeaux; et dans les jours très-chauds, il est encore plus froid. En hiver, au contraire, le vent s'engouffre avec violence, et d'autant plus que le froid est plus rigoureux.

Lorsque Saussure fit l'épreuve de la température de ce vent souterrain, la journée se trouvait froide pour la saison et le climat, car c'était le 4 juillet, et l'air extérieur n'était qu'à 14 degrés $\frac{1}{2}$, mais le vent qui sortait du rocher n'était qu'à 5 degrés $\frac{3}{4}$ (§ 1408).

Les *cantines* ou *caves froides* de Chiavenne, au nord du lac de Côme, sont aussi adossées à un rocher

qui est au sud-est de la ville. L'air froid entre dans les caves par les crevasses de ce rocher, qui est composé d'une stéatite durcie, tapissée en divers endroits d'asbeste et d'amiante flexible. Le 5 août 1777, à midi, le thermomètre, dans ces caves, était à 6 degrés, tandis qu'à l'air extérieur il était à 17.

Saussure remarque ici que ce n'est point à la nature de la roche qu'on peut attribuer ce refroidissement de l'air, puisqu'à Cési il sort d'une montagne calcaire, à Saint-Marin d'une montagne de grès, et à Chiavenne d'une montagne de stéatite (§ 1409).

Les caves les plus froides que Saussure ait observées sont celles de Caprino, au bord du lac et de la ville de Lugan. Ces caves sont au pied d'une montagne calcaire, dont la pente très-rapide vient se terminer auprès du lac.

Dans la première visite que Saussure fit à ces caves, le 29 juin 1771, le thermomètre qui, en plein air, à l'ombre, était à 21 degrés, y descendit à $4 \frac{1}{3}$. La seconde fois qu'il les vit, le premier août 1777, le thermomètre ne descendit que jusqu'à $4 \frac{1}{2}$; il était, à l'air extérieur, à 18. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces caves ne sont point creusées dans la terre : leur sol est de niveau avec le terrain; le mur de face et le toît sont extérieurement à l'air; il n'y a que le mur du fond et une partie des murs latéraux qui soient enterrés dans le pied de la montagne.

Il faut, ajoute Saussure, que la cause de ce phénomène soit très-étendue; car il y a de ces caves froides jusqu'à Capo-d'i-Lago, à 8 milles de Capoue, et même jusqu'à Mendrisio, qui est encore une lieue plus loin; il y en même sur la rive opposée du lac; on dit aussi qu'il y en a sur les bords du lac de Côme.

Les caves froides d'Hergisweil, près de Lucerne, sont

les seules que Saussure ait observées en deçà des Alpes. Le village d'Hergisweil est au fond d'un petit golfe du lac de Lucerne. A dix minutes du village, au pied de la montagne, on trouve ces caves froides, qui ne sont autre chose que de petites huttes toutes en bois, excepté le mur du fond qui est, comme à Lugan, appliqué contre les débris accumulés au pied du rocher. Ce mur est en pierres sèches, et c'est par leurs interstices qu'entre dans la cave le vent froid qui sort des débris de la montagne. Le 31 juillet, à midi, le thermomètre qui, en plein air, était à 18 degrés $\frac{3}{10}$, descendit à 3 $\frac{3}{10}$, dans le fond de la cave.

La montagne est calcaire; elle a ses couches relevées contre les caves; son pied s'avance dans le lac de Lucerne, où il forme un promontoire; c'est une des bases du mont Pilate. Le lac est très-profond auprès de ce rocher (§ 1411).

On trouve en Catalogne des caves très-fraîches situées au pied du volcan du Batet, et qui ont été très-bien décrites par M. de Billy.

« On observe à la base de la montagne un phénomène assez singulier; ce sont des courans d'air froid qui sortent de plusieurs points, et que l'on désigne dans le pays sous le nom de *bufadors*. Ils sont assez forts pour entraîner des corps légers et s'échappent avec plus ou moins de rapidité de quelques excavations creusées naturellement dans les laves et les pouzzolanes de la surface du sol. Plusieurs de ces bufadors sont tout près de la Flavia; les plus remarquables se trouvent à Olot même, autour de la place Saint-Cristobal, sur la rive droite de la rivière.

» Suivant le docteur Bolos, ces courans n'amènent ni mauvaise odeur ni gaz étranger; ils ne diffèrent de l'air atmosphérique ambiant que par leur tempé-

rature. Les courans sont plus forts en été, ils sont à peine sensibles et même nuls en hiver; leur température est probablement constante, quoique l'on prétende dans le pays qu'ils sont plus froids dans la première de ces saisons.

» Les maisons construites au-dessus des bufadors en retirent de grands avantages, surtout pendant l'été. Les courans d'air froid répandent de la fraîcheur autour des habitations qu'ils atteignent, et permettent de conserver les substances alimentaires beaucoup plus long-temps que ne le permettrait la température de l'atmosphère (1). »

On connaît aussi en France plusieurs cavernes qui présentent ce caractère. Outre celles qui existent en Auvergne, on en rencontre dans le département de la Drôme, qui ont été décrites par M. Legras.

Sur le territoire de Luc, non loin du lieu appelé le Clap, il existe une fente de rochers longitudinale, large seulement de quelques décimètres, d'où il sort pendant l'été un courant d'air frais, qui est surtout sensible dans le temps des grandes chaleurs; il est alors assez fort pour agiter les feuilles des buissons qui croissent près de là : ce vent cesse lorsque la température vient à baisser, et dans l'hiver il change de direction, c'est-à-dire que l'air extérieur s'engouffre dans la cavité, au lieu d'en sortir; sa vîtesse, dans ce cas, est d'autant plus grande que le froid est plus vif.

Pour se rendre compte de ce singulier phénomène, Saussure suppose dans le sein des montagnes de vastes cavernes, qui ne sont pas assez profondes pour être

(1) De Billy, Volcans éteints des environs d'Olot. *Annales des Mines*, 2e série, t. IV, p. 196.

inaccessibles à la chaleur de l'été et au froid de l'hiver, et qui le sont cependant assez pour que d'une saison à l'autre la température n'y varie que de quelques degrés. L'air qui s'y trouve renfermé étant, dans cette hypothèse, successivement condensé et dilaté, donne lieu à une aspiration et à une expiration alternatives rendues sensibles par un courant à l'extrêmité des issues étroites par lesquelles ces cavernes communiquent au jour. D'après le même auteur, l'air, en sortant, est refroidi par l'évaporation de l'eau qui suinte des parois de presque toutes les grottes; et c'est pour cette raison que sa température est constamment au-dessous de la moyenne des lieux.

Quelque grande que soit l'autorité de Saussure, dit M. Legras, les progrès récens de la physique ne permettent pas d'admettre son explication, au moins en totalité. On sait aujourd'hui que l'air ne se dilate, pour un degré centigrade, que de 0,00375 de son volume à zéro; par conséquent, une grotte de 1,000 mètres cubes de capacité, dont la température moyenne serait de 10°, et où le thermomètre varierait de 3° en dessus et au-dessous de ce terme, ne pourrait fournir, au plus, que 2,88 mètres cubes d'air : si l'on donne à l'orifice de sortie une surface seulement d'un décimètre carré, et au courant une vîtesse de cinquante centimètres par seconde, en moins d'une heure et quatorze minutes tout cet air serait écoulé. Quelle immensité tout-à-fait invraisemblable et même impossible ne faudrait-il pas attribuer à cette caverne, si elle pouvait alimenter un vent violent et continu pendant tout l'été! D'un autre côté, il a été nécessaire de supposer son intérieur inaccessible aux variations journalières de la température. Or, ceci ne s'accorde point avec cette circonstance très-remarquable du phénomène que, pendant l'été, la vio-

lence du vent augmente ou diminue en même temps que la chaleur ; on pourrait encore objecter avec raison que l'air qui séjourne dans les grandes cavités souterraines est toujours saturé d'humidité et par conséquent impropre à produire une évaporation capable d'abaisser sa température de plusieurs degrés.

L'explication suivante est, selon M. Legras, plus simple et s'accorde mieux avec les faits :

« Il suffit d'admettre que les cavités dont il s'agit, sans avoir des dimensions extraordinaires, communiquent au dehors par plusieurs crevasses, les unes situées à la base de la montagne, et par lesquelles s'échappent les vents frais, les autres existantes à un niveau plus élevé, et ignorées; leur température intérieure doit être à peu près constante, et, comme on le verra bientôt, plutôt au-dessous qu'au-dessus de la moyenne du pays en été. L'air souterrain étant plus froid, et par conséquent plus pesant que l'air extérieur, doit s'écouler par les ouvertures inférieures, de la même manière qu'un liquide qui s'échappe d'un vase : ce qui produit un courant froid sortant par le bas et un courant chaud entrant par le haut. En hiver, c'est tout le contraire; l'air intérieur, étant spécifiquement plus léger que le reste de l'atmosphère, s'élève : le sens des courans est alors interverti. On conçoit facilement que, dans les deux cas, la vîtesse de l'air doive être d'autant plus grande que la différence des densités, au dehors et au dedans, est elle-même plus considérable. Pour expliquer comment la grotte ne s'échauffe pas, et reste même au-dessous du tempéré, l'évaporation imaginée par Saussure est tout-à-fait admissible et suffisante, parce que dans l'hypothèse où nous sommes placés, l'air qui entre est sec et se renouvelle sans cesse. Cependant il est à croire qu'en général la température in-

térieure s'élève peu à peu en été, et qu'elle a atteint son *maximum* en automne; circonstance que favorise la rentrée de l'air dès les premiers froids. Il pourrait arriver que, par suite d'une évaporation abondante, la grotte restât très-froide durant toute la belle saison; alors nécessairement, en hiver, le courant ascensionnel serait nul ou très-faible, l'équilibre de température se trouvant à peu près rétabli.

« L'expérience, continue M. Legras, ne dément point cette conséquence, et il pense même que c'est le cas de la grotte de Gerolstein, sur les bords du Rhin; le vent qui en sort en été est très-humide et tellement froid, qu'il tapisse d'une couche de glace fort épaisse les rochers exposés à son souffle. En hiver, il s'arrête, et la glace cesse de se déposer (1). »

La même explication s'applique parfaitement aux cavités de la coulée de Côme, en Auvergne; elle convient aussi on ne peut mieux aux *bufadors* du volcan de Batet, et M. de Billy avait déjà donné cette théorie en 1828, et par conséquent avant M. Legras.

« La connaissance de la stucture de Batet, dit M. de Billy, facilite l'explication de ce phénomène en apparence si extraordinaire; le son sourd que rend cette montagne sous les pieds, ou quand on y laisse tomber un corps pesant, fait présumer qu'elle renferme des cavités. On observe, en outre, assez près du sommet, des ouvertures que l'on dit très-profondes, qui pourraient bien communiquer avec les cavernes. Si, de

(1) Institut, 21 octobre 1835. Voyez aussi, pour la description de la grotte de Gerolstein, Jean Reynaud, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, *Annales des Mines*, 3e série, t. II, p. 396.

plus, celles-ci étaient liées avec les trous au travers desquels les courans d'air s'échappent, il y aurait communication entre les *bufadors* et les ouvertures du sommet de la montagne, et la chose s'expliquerait tout naturellement de la même manière que l'airage d'une mine au moyen de galeries dont les ouvertures sont à des niveaux différens. Toutes les circonstances du phénomène sont d'accord avec cette explication : la constance de la température, l'augmentation de la force du courant en été, sa faiblesse ou sa nullité en hiver, etc. (1). »

Les cavernes, présentant des issues naturelles aux différens corps qui s'échappent de l'intérieur du globe, deviennent quelquefois le siége de plusieurs autres phénomènes qui trouveront place dans la suite de cet ouvrage.

---

(1) De Billy, Volcans éteints des environs d'Olot, *Annales des Mines*, t. IV, p. 196.—1828.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES FORCES AGISSANTES OU CRÉATRICES A LA SURFACE DE LA TERRE.

Nous connaissons maintenant la terre où nous vivons, et qui plus tard recevra nos dépouilles. Nous savons qu'elle est enveloppée d'une vaste atmosphère dans laquelle se passent des phénomènes aussi fréquens que variés. Nous avons vu sa surface sillonnée par de nombreux cours d'eau, et ses bassins occupés par de grands amas de liquide. Nous avons remarqué les inégalités dont elle est couverte, et enfin, pénétrant autant que nous l'avons pu dans son intérieur, nous avons reconnu qu'elle était formée de couches de sédiment appliquées les unes sur les autres et traversées çà et là par des roches massives et cristallisées, qui souvent ont dérangé la symétrie des premières et les ont brisées ou disjointes. Dans une foule de circonstances, nous avons trouvé des débris de corps organiques enfouis à de grandes profondeurs, irrégulièrement dispersés dans les roches, et appartenant souvent à des espèces qui n'existent plus maintenant. Indépendamment de tous ces phénomènes, nous voyons des volcans couvrir le sol de leurs laves, des tremblemens de terre soulever de grands espaces et en abîmer d'autres; des eaux thermales s'élever en bouillonnant, et déposer autour d'elles

des matières qu'elles vont puiser à d'immenses profondeurs.

Tous ces changemens, tous ces mouvemens qui ont lieu à la surface de nos continens, nous indiquent assez que des forces puissantes agissent continuellement, et que de grandes réactions s'opèrent encore dans la nature.

En réfléchissant à tout ce qui se passe autour de nous, en étudiant avec soin le résultat de ces actions diverses qui se manifestent sur tous les points du globe, nous apercevons bientôt deux grandes divisions dans les forces actuellement agissantes.

Les unes agissent de haut en bas, et tendent à détruire les points les plus élevés du globe pour en ramener les débris à la surface.

Les autres, au contraire, agissent de bas en haut, en sorte qu'elles amènent continuellement au dehors des matières qui sont puisées dans l'intérieur.

A la première de ces deux divisons appartiennent l'action des matières qui corrodent et détruisent la surface des roches; l'action des sources qui minent le sol et délayent ses débris; celle des ruisseaux, des rivières et des fleuves qui charrient continuellement les fragmens qu'ils arrachent aux montagnes; l'action érosive des cascades et des torrens; la puissance des marées et des courans marins; celle des glaciers et des glaces polaires.

Dans la seconde viennent se ranger tous les phénomènes relatifs à la température intérieure du globe : les éruptions volcaniques, les soulèvemens du sol, les tremblemens de terre, les eaux thermales, les salses, les lagonis, les dégagemens de gaz, les filons d'injections et de sublimation.

Ces deux grandes puissances créatrices opèrent, comme on le voit, en sens contraire, puisque l'une agit

de haut en bas, et l'autre de bas en haut; elles ont pour résultat commun de confondre leur centre d'action sur un horizon ou niveau commun qui est la surface de la terre. C'est là que les deux forces sont en présence, c'est là qu'elles ont lutté long-temps, et en réfléchissant seulement à leurs effets actuels, nous devrions conclure théoriquement que la petite portion de la terre dans laquelle nous avons pu pénétrer doit se trouver composée de roches produites par ces deux grandes puissances. C'est en effet ce que l'expérience a depuis long-temps confirmé, et ce que le langage de la science a même, pour ainsi dire, sanctionné, en divisant les terrains qui composent cette écorce en *terrains stratifiés* ou de *sédiment, terrains cristallisés* ou *d'épanchement.*

Il est encore une autre force créatrice peu importante quant à la masse de la terre, mais du plus haut intérêt pour nous : c'est la *force organique* ou *la vie*, indépendante sans doute par son principe des deux précédentes, mais soumise à leur puissance pour son maintien et sa durée. C'est aussi à la surface du sol, c'est encore au niveau des mers, que cette force atteint son *maximum* d'action. Elle diminue à une certaine élévation, et cesse à peu de distance verticale de ce niveau; elle diminue au-dessous de la surface de l'eau, et s'éteint à la faible profondeur de 200 mètres.

Il se passe encore sur la terre une foule de petites actions qui appartiennent à l'une ou l'autre des trois grandes forces que nous venons de citer. Ce sont des phénomènes *chimiques* et *électriques* qui apparaissent dans un grand nombre de circonstances, et dont l'action, quand elle s'applique aux corps organisés, ne se manifeste bien qu'après leur mort. C'est encore près de la surface de la terre que leurs effets ont lieu, puisqu'ils

sont dépendans des autres, et c'est par conséquent à nos pieds que se développent, à l'époque actuelle, les grands phénomènes de la nature.

L'intensité de ces différentes forces paraît aussi augmenter lorsqu'on approche de l'équateur; elle diminue évidemment vers les pôles et à mesure qu'on s'élève sur les montagnes.

Leurs effets doivent être soigneusement étudiés par le géologue. Il doit s'occuper des plus faibles actions; car, pour l'histoire du globe, c'est l'analogie qui doit principalement nous servir de guide. On est revenu maintenant de ces grands cataclysmes auxquels on supposait que la terre avait été soumise; on ne cherche plus ces chocs de comètes ni toutes ces causes présumées de vastes inondations et de changement de climat; on pense que notre planète contient en elle-même le principe et la cause des nombreux changemens qui s'y sont opérés. En reculant dans l'ordre chronologique des réactions qui s'y manifestent encore de nos jours, en augmentant leur intensité, on trouve naturellement l'explication de tous les phénomènes géologiques; on arrive à cette conséquence, que notre globe est parvenu à un état de stabilité remarquable dont il n'a pas toujours joui; que les mêmes forces qui se montrent maintenant ont agi autrefois avec bien plus d'intensité, et qu'il suffit de les augmenter graduellement par la pensée, pour se rendre raison de tous les faits que nous rencontrerons par la suite dans l'étude de la terre.

On observe, en partant de l'époque actuelle pour rétrograder vers les temps antérieurs, ce que verrait un voyageur qui voudrait étudier l'intensité des forces créatrices depuis le pôle jusqu'à l'équateur. Il les verrait progressivement augmenter jusque sous la zône torride. Là il trouverait le *maximum* de notre époque, tandis

qu'il aurait presque trouvé le *o* sous la glace du pôle. L'état de notre planète ne peut pas encore être comparé à celui des pôles ; mais nous ignorons l'avenir, et tout nous porte à croire que ces forces s'affaiblissent.

Dans l'étude que nous allons faire des forces créatrices, nous les partagerons en *forces extérieures* et *forces intérieures*.

Avant de passer à l'examen des forces intérieures, nous dirons quelques mots des forces organiques, qui semblent plutôt liées aux phénomènes extérieurs qu'aux autres.

Nous aurions dû peut-être, avant d'entrer dans ces détails, qui pourront présenter quelques difficultés aux personnes qui commencent l'étude de la géologie, nous occuper d'abord de l'âge des terrains, des roches qui les composent, enfin de cette masse de faits positifs qui font la base de la bonne géologie ; mais nous avons cru qu'en présentant d'abord l'ensemble des phénomènes qui résultent des forces qui agissent encore actuellement et sous nos yeux, l'étude des terrains deviendrait beaucoup plus facile, moins aride et par conséquent plus profitable. Il nous suffira, en effet, de rappeler ces actions de l'époque actuelle, de les agrandir par l'intensité ou la durée, pour expliquer facilement des choses qu'il serait impossible de comprendre sans ces données préliminaires.

CHAPITRE HUITIÈME.

DES FORCES AGISSANTES OU CRÉATRICES EXTÉRIEURES.

Le titre de *destructrices* s'appliquerait peut-être mieux aux forces dont nous allons parler, car elles ont pour effet de dégrader continuellement les terrains, les montagnes et les vallées, et d'entraîner leurs débris; mais comme elles ont pour *résultat* de déposer ces débris dans des lieux moins élevés, et de créer, en quelque sorte, de nouveaux terrains, on peut leur laisser cette dénomination.

Tantôt ces effets ont lieu mécaniquement, par la pression, le frottement, la vîtesse de l'air, des météores ou des cours d'eau; tantôt chimiquement, par l'action de l'air, de la lumière, de la température solaire ou d'un grand nombre d'autres corps. Nous étudierons séparément ces deux modes d'action, qui agissent très-souvent ensemble dans la nature.

ACTIONS MECANIQUES.

Nous suivrons, dans l'examen des actions mécaniques, l'ordre que nous avons adopté dans la description des phénomènes météorologiques et hydrographiques, déjà étudiés précédemment. Nous verrons

successivement l'action de l'air, des vents, des météores aqueux, des sources, des cours d'eau, des mers et des glaces.

Action de l'Air.

L'air ne peut guères exercer qu'une action chimique à la surface du globe, et, sous ce rapport, il joue et il a joué un grand rôle, comme nous le verrons plus loin. Sec et calme, il ne peut agir mécaniquement sur aucune roche. Sa pression pourrait avoir quelque influence sur certaines décompositions; mais ces effets actuels, s'ils existent, sont extrêmement faibles. Peut-être, à une époque très-éloignée, l'atmosphère a-t-elle été plus étendue, et alors une plus forte pression a pu agir sur des couches de terrain qui n'étaient pas consolidées. Elle a dû, dans tous les cas, s'ajouter à celle de l'eau. Malgré cela, il est encore douteux que cette cause ait eu quelque influence marquée sur la structure de la terre.

L'air agité ou le vent, surtout lorsqu'il acquiert une certaine vîtesse, peut causer de grands ravages, et on en a malheureusement de tristes et nombreux exemples.

Peut-être doit-on à l'action continue des vents alizés et de quelques autres, la constance de direction et l'origine de plusieurs courans marins qui ont certainement une action marquée sur le fond des mers. Les vents irréguliers et variables concourent aussi à amonceler la neige dans les vallées, d'où elle s'échappe ensuite en torrens impétueux. Leur action sur le sol lui-même, c'est-à-dire leur action directe, est aussi très-puissante. Tout le monde sait que dans les grands déserts de l'Afrique et de l'Asie, le vent soulève le sable en tourbillons immenses qui ensevelissent tout ce

qui se rencontre sur leur passage. Des caravanes tout entières ont péri dans cette circonstance; souvent même l'air est tellement chargé de particules de sable, qu'il peut parvenir à une température bien plus élevée que celle qu'il acquerrait par la simple action du soleil sur les corps gazeux dont il est composé. Il n'est personne qui n'ait remarqué ces légers tourbillons de poussière que l'on voit naître et courir avec vîtesse dans les rues et sur nos grands chemins. Ce petit phénomène se développe sur de vastes plaines desséchées, et des masses de terres sont ainsi transportées avec promptiude d'un point dans un autre. « Lorsque, par l'effet vertical des rayons d'un soleil qu'aucun nuage n'arrête, l'herbe brûlée tombe en poussière, le sol endurci se crevasse, comme s'il était ébranlé par de violens tremblemens de terre; alors, si des vents opposés viennent à se heurter à sa surface, et si leur choc se termine par produire un mouvement circulaire, la plaine offre un spectacle extraordinaire. Pareil à une vapeur, le sable s'élève au milieu du tourbillon raréfié et peut-être chargé d'électricité, tel qu'une nuée en forme d'entonnoir qui, avec sa pointe, glisse sur la terre, semblable à la trombe bruyante redoutée d'un navigateur expérimenté (1). »

D'autres fois, les vents ont une action lente, mais continue, et quand elle s'exerce sur des sables mouvans et composés d'une infinité de petits cristaux qui glissent les uns sur les autres, ils peuvent changer entièrement l'aspect de grandes surfaces, et l'on voit des collines avancer avec une certaine vîtesse. De là ces merveilleuses descriptions de *montagnes qui marchent*, que l'on rencontre dans les ouvrages qui décri-

---

(1) HUMBOLDT, *Tableaux de la nature*, t. I, p. 37.

vent les *merveilles de la nature.* Les dunes ou plages de sable, dont les côtes de l'Océan sont bordées dans un grand nombre de pays, et notamment sur les côtes de France, sont fréquemment soumises à ce moyen de transport, et elles avancent presque constamment vers l'intérieur des terres. Cette marche est même assez active sur les côtes de Gascogne. Elle a fait d'immenses progrès d'invasion depuis 1644, époque à laquelle Coulon, dans son Traité historique des fleuves et des rivières de France, rapporte que les vents, en transportant les sables, leur faisaient engloutir les bourgs et les forêts. Michel de Montaigne dit aussi qu'un domaine appartenant à son frère et situé près de la mer, en Médoc, a été enseveli. « Le faîte d'aucuns bâtimens paraît encore : ses rentes et domaines se sont changés en pasquages bien maigres; les habitans disent que, depuis quelque temps, la mer se pousse si fort vers eux, qu'ils ont perdu quatre lieues de terre. Ces sables sont fourrières, et voyons de grandes monjoyes d'arènes mouvantes qui marchent une demi-lieue devant elles et gagnent pays (1). »

On ne peut se figurer les désastres occasionnés par cette marche progressive de sables, à laquelle de vastes plantations peuvent à peine s'opposer.

L'ancien bourg de Mimizan, département des Landes, est aujourd'hui couvert de hautes dunes de sables, ainsi que l'église paroissiale et les riches possessions d'une communauté de bénédictins établie autrefois dans ce lieu. Les religieux ne pouvant subsister avec les revenus de la dîme attachée à leur prieuré, se retirèrent à St-Séver, et abandonnèrent aux habitans

---

(1) *Essais*, liv. I, chap. XXX.

leur église conventuelle avant son envahissement. Ils espéraient encore qu'un ruisseau qui la séparait des dunes les plus voisines serait un obstacle à la marche des monticules, mais le ruisseau a été comblé, et s'est creusé un nouveau lit plus avant dans les terres, et l'église a été engloutie. En 1774, on voyait les sables qui avaient franchi le mur du cimetière, qui s'accumulaient contre l'église.

« Il n'y a pas 50 ans que l'on voyait encore dans la paroisse de Saint-Julien, en Born, les belles avenues en prairies et en chênes, qui environnaient de toutes parts la maison de feu Dubrocar, ancien receveur de la capitation bourgeoise de cette ville. Les sables, qui étaient éloignés de plus d'un quart de lieue, s'en sont tellement approchés, et s'y sont accumulés à une hauteur si prodigieuse, que les bois les plus à l'ouest, qui étaient de haute futaie et de très-vieux chênes, ne paraissent plus aujourd'hui. La maison anciennement bâtie sur ce bien fut détruite, il y a plus de 20 ans, et transportée à plus de 200 pas vers les terres. On eut la précaution de laisser entr'elle et la nouvelle dune un petit ruisseau qu'on imaginait devoir arrêter le progrès du sable; mais ils ont comblé ce ruisseau, qui s'est pratiqué un nouveau lit plus au levant; et cette nouvelle maison, transportée pour la troisième fois, touche déjà la dune qui doit l'ensevelir un jour. Ce qui reste de bois de chênes sur pied ne végète plus; tous ceux que les sables ont environnés sont entièrement desséchés. On aperçoit sur les pentes de cette nouvelle montagne, le sommet des arbres les plus élevés; il y en a qui ne sont ensevelis qu'à moitié, et d'autres au pied desquels le désastre ne fait que commencer. »

« Les débordemens des étangs et des lacs qui exis-

tent dans ces contrées sont encore une suite de l'inondation de ce sable. A mesure que leurs grains s'élèvent en pente douce du côté de la mer, le peu de liaison qu'ils conservent entr'eux, et le poids des couches supérieures, forcent celles du centre à céder et à écrouler en talus du côté opposé à leur naissance. Ces éboulemens avançant continuellement vers les terres, comblent insensiblement les étangs qui les bordent. Cependant les eaux que reçoivent toujours ces étangs par le cours non interrompu de plusieurs petites rivières qui s'y déchargent, se trouvent bornées par ces amas de sable, et s'élèvent jusqu'à ce qu'elle se soient fait une issue pour se jeter dans la mer; ce qui ne peut arriver qu'après avoir causé de nouveaux ravages dans les terres. Le boucaud de Contis par où l'étang de St-Julien se décharge dans la mer, laisse à peine échapper aujourd'hui la sixième partie des eaux que plusieurs gros ruisseaux y entraînent constamment. Son embouchure, d'ailleurs se comblant chaque jour par le sable, que le reflux ne cesse de charrier, il est évident que l'étang gagnant sur les terres l'espace nécessaire pour contenir ses eaux, celles-ci se ménageront quelqu'autre issue, et qu'elles continueront de renverser tout ce qui pourrait s'opposer à leur nouveau cours. »

« C'est par de semblables causes que l'ancienne paroisse de St-Paul se trouve aujourd'hui sous les eaux de l'étang d'Aureilhan. C'est par une suite des refoulemens des lacs qui se forment entre les terres et les dunes qui bordent ces côtes, que le bourg de Bias, son église, ses vignes, et toutes les possessions qui l'entouraient, ont été de nos jours entièrement submergées (1). »

---

(1) *Encyclopédie méthodique*, article *Dunes*.

Ce qu'on vient de lire prouve que les dunes marchent avec une certaine rapidité. L'ingénieur Bremontier, qui a publié sur leur fixation des travaux très-importans, avait calculé qu'elles avançaient d'environ 21 mètres par an, et a prédit l'époque à laquelle Bordeaux subirait le sort des villages dont nous avons parlé plus haut.

Les vents ont, comme on le voit, une certaine influence sur la configuration extérieure des continens. Jusqu'ici nous avons toujours supposé à ces courans d'air une vîtesse moyenne; mais dans les tempêtes, quand ils marchent, d'après les suppositions les plus raisonnables, avec une vîtesse de 20 à 30 lieues à l'heure, leurs effets sont terribles comme la rapidité de leur course. Alors ils renversent tout ce qui se trouve sur leur passage : arbres, édifices, tout est emporté, ainsi que les êtres vivans qui se trouvent sur la ligne que parcourt le météore. On a des exemples presqu'incroyables de la force du vent, dans ces circonstances heureusement assez rares. Le coup de vent qui, en 1780, ravagea la Jamaïque, commença d'abord à frapper sur la ville de Savannah-la-Mar, dont il fit sur-le-champ un amas de décombres.

En 1831, un affreux ouragan dévasta les Antilles; toutes les constructions s'écroulèrent, ensevelissant sous leurs débris tous les êtres vivans qui s'y trouvaient enfermés. A la Barbade, le vent enleva les feuilles et les jeunes branches des arbres, qui restèrent ainsi dépouillés de toute leur verdure. L'île de St-Vincent fut atteinte par ce terrible fléau, qui n'épargna pas non plus l'extrêmité est de la Jamaïque.

Les eaux cédant à une aussi violente pression, s'agitent d'une manière terrible quand elles sont frappées par de semblables courans d'air, et causent souvent

plus de dégâts que le vent lui-même. Ce même ouragan, qui sévit si fortement sur les Antilles en 1831, souleva les eaux à St-Domingue à une hauteur prodigieuse, et près de Santiago-de-Cuba, tous les vaisseaux qui étaient en rade furent jetés à la côte. Ces coups de vent violent peuvent même changer la configuration du pays ; le grand golfe du Zuyderzée, en Hollande, ne date que du 26 novembre 1282, époque où le lac Fiévo rompit ses digues et s'unit à la mer pendant un violent ouragan. Plusieurs fois les digues de cette contrée furent percées par les mêmes causes. L'ouragan du 19 novembre 1321 fit faire à l'Océan une irruption qui, dans ce même pays, engloutit 72 villages et noya plus de cent mille habitans. Lors du dernier coup de vent (29 novembre 1836), qui fut encore si funeste à tout le nord de la France et de la Belgique, des personnes furent enlevées par sa violence, et l'une d'elles, soulevée à Anvers, tomba dans l'Escaut sans qu'on pût lui porter secours.

Il est rare cependant que des vents aussi violens se développent dans les climats tempérés ; c'est sous la zône torride que ce météore acquiert sa plus grande puissance, et nous ne savons pas si, avant le refroidissement complet de la surface du globe, des vents bien plus intenses que ceux dont nous venons de rapporter des exemples, n'ont pas existé. Nous ignorons si notre atmosphère, plus developpée, ne pouvait pas donner naissance à de grands courans réguliers qui peut-être se sont opposés, jusqu'à un certain point, au développement des êtres organisés terrestres, ou si, enfin, ces courans n'ont pas eu une grande influence sur le transport des matériaux de sédiment dont se compose l'écorce de la terre, et particulièrement sur les produits pulvérulens lancés par les bouches volcaniques.

Actuellement encore, il existe des contrées où l'on remarque l'influence des vents régnans et presque continus sur la végétation et la distribution des sables des volcans. Ainsi, en Auvergne, les vents d'ouest ont dirigé à l'est presque toutes les pouzzolanes de ses volcans, et les grands arbres qui végètent au sommet des montagnes, et notamment aux environs du Puy-de-Dôme, sont tous fléchis au levant par la même cause.

On ne peut nier cependant que cette cause de changement ne soit bien moins intense sur la terre, ainsi que sur Mercure et Vénus, qui tournent toutes en vingt-quatre heures sur leur axe, que sur les grosses planètes, telles que Jupiter, Saturne et probablement Uranus. Avec leur rotation rapide de dix heures au lieu de vingt-quatre, leur énorme volume, qui augmente la vîtesse de la circonférence, et leur puissante atmosphère, il est à peu près certain qu'il règne sous presque tous les parallèles de ces planètes des ouragans perpétuels et tellement violens, que rien ne peut leur résister. C'est avec raison que l'on regarde les bandes qui sont parallèles à l'équateur de Jupiter, comme des courans d'air, sensibles pour nous à une si prodigieuse distance; parce qu'ils charrient sans cesse une foule de débris arrachés à cet astre, qu'ils rendent inhabitable; car, en supposant que Jupiter fût dans des circonstances favorables pour que la vie s'y développât, il est bien certain que, pour cette raison, elle serait confinée à ses deux pôles, dont les habitans seraient éternellement séparés par ces ouragans permanens. Les mêmes causes ne produisent sur la terre que les vents alizés, qui, loin d'être un obstacle à nos communications, les favorisent singulièrement.

CHAPITRE NEUVIÈME.

DE L'ACTION DES MÉTÉORES AQUEUX.

C'est encore chimiquement, plutôt que de tout autre manière, qu'agissent les météores aqueux. Nous aurons donc à reprendre encore leur examen par la suite. Cependant ils ont aussi une action mécanique bien marquée.

L'évaporation agit en desséchant les masses, et les met ainsi dans un état particulier qui leur permet d'être attaquées par certains agens. Ainsi, c'est la grande sécheresse des sables qui les rend susceptibles d'être emportés par les vents; c'est l'absence de l'eau dans les déserts qui permet aux courans d'air d'enlever en tourbillonnant une portion des sables ou de la terre desséchée. C'est encore l'évaporation qui facilite la sortie de plusieurs sels, et qui détermine l'efflorescence entière de plaines immenses qui se couvrent de cristaux soyeux, que les pluies viennent entraîner. L'évaporation est, au reste, la cause première des pluies, de la grêle, de la neige, des brouillards, de la rosée, et de toutes ces actions invisibles qui se passent dans l'atmosphère, et qui jouent un si grand rôle dans la physiologie du globe.

Les neiges agissent par leur poids, surtout lorsqu'elles se sont transformées en glaces, comme nous le verrons par la suite. Quant à la grêle, ses effets mécaniques

sont bien peu de chose, et personne n'a imaginé, à ma connaissance, de la faire entrer en ligne de compte dans la succession des événemens géologiques. En supposant qu'elle eût été plus abondante autrefois qu'à présent, ce qui est fort invraisemblable, on ne voit pas quel effet un peu marquant elle aurait pu produire. Il n'y a donc réellement que la pluie qui puisse jouer un rôle dans les phénomènes d'action, et ce rôle est l'inverse de l'évaporation. Elle humecte les roches, elle ramollit les terres, elle retient les sables, elle dissout les sels, et précipite sur la terre toutes les matières pulvérulentes que contient l'atmosphère. Il est rare qu'elle tombe pure. Souvent elle tient en dissolution un peu de sel marin enlevé aux mers pendant l'évaporation ou par les vents. Nous avons vu, en parlant des pluies de sang, de soufre, de cendres, etc., que souvent elle rencontrait des matières en suspension qu'elle entraînait dans sa chute. En effet, si l'on expose une plaque de verre bien propre à l'action de l'eau de pluie, elle restera presque toujours tachée après l'évaporation.

La pluie joue un certain rôle de création pendant les éruptions volcaniques, non pas qu'elle contribue aux éruptions boueuses véritables, mais elle tombe parfois avec tant d'abandance, qu'elle stratifie les sables, les applique sur le flanc de la montagne, ou bien les transforme en globules, qui s'entassent les uns sur les autres et forment ces roches à structure globuleuse que Breislack a observées plusieurs fois en Campanie.

Elle délaye les couches d'argile, s'infiltre à travers les roches, s'y congèle, et agit alors avec une grande force. Lorsque la pluie est accompagnée d'un grand vent, elle agit aussi avec une grande violence, en formant subitement des torrens dont l'action érosive est

excessivement forte; mais cette action appartient déjà à l'histoire des cours d'eau. En comparant la quantité de pluie qui tombe sur les différentes zônes du globe, comme nous l'avons fait dans le premier volume de cet ouvrage, nous reconnaissons bientôt que la zône torride reçoit une énorme quantité d'eau. C'est donc encore un phénomène plus actif sous l'équateur qu'au pôle, où il a déjà cessé entièrement. Nous devons conclure de cette augmentation de pluie sous les tropiques, qu'il pleuvait davantage autrefois qu'à présent. Nous pouvons, il est vrai, supposer que, dans les premiers âges du monde, notre atmosphère, plus chaude et plus étendue, ne répandait pas encore en gouttelettes l'énorme quantité de vapeurs dont elle était chargée; mais, en examinant, comme nous l'avons déjà fait, les preuves irrécusables de la diminution des cours d'eau, nous ne pouvons nous empêcher de reconnaître que les pluies ont été bien plus abondantes qu'elles ne le sont maintenant; et nous devons remarquer que s'il existe des dépôts d'eau douce plus étendus que ceux qui peuvent se former actuellement dans les grands lacs de l'Amérique septentrionale, c'est qu'il tombait dans ces mêmes climats des quantités d'eau capables de fournir à d'aussi grands réservoirs.

Nous reconnaîtrons, du reste, en étudiant les phénomènes de l'intérieur du globe, comment cette supposition s'accorde tout naturellement avec les faits et avec la théorie.

DE L'ACTION DES SOURCES.

Les sources étant très-communes dans presque tous les terrains et possédant une puissance d'action continue, il en résulte qu'elles doivent occasionner des bou-

leversemens assez notables à la surface de la terre. Elles produisent souvent des éboulemens qui sont d'autant plus dangereux qu'on est loin de s'y attendre. Leur travail est caché : elles minent lentement le terrain sous lequel elles s'écoulent, et tout-à-coup la catastrophe arrive. On cite un grand nombre d'accidens de ce genre qui ont eu les suites les plus funestes.

Tel fut l'éboulement des Diablerets, qui eut lieu dans les Alpes, avec un horrible fracas, en 1749. Tel fut celui du pas de Compains, dans le Cantal, dont la date est ignorée, et qui a fait de cet endroit un des points les plus pittoresques de la France.

Il faut rapporter à la même cause le célèbre éboulement de la montagne de Rossberg, dont le diorama a offert un si beau tableau. Cette montagne fait face au mont Righi, en Suisse, et s'élève à 5,196 pieds de hauteur absolue. Les couches, plongeant sous un angle de 45 degrés environ et très-perméables à l'eau, en furent tellement imbibées, que, le 2 septembre 1806, elles glissèrent avec un fracas horrible dans la vallée de Goldau, qui est à leur pied. On ne peut se faire une idée du désordre qui suivit cet horrible accident. Les rochers et la boue couvrirent la vallée; les deux villages de Busingen et de Goldau, une partie de celui de Lowertz, le hameau entier de Huelloch, les fermes de Unter-Rothen et Ober-Rothen, et plusieurs autres habitations, disparurent sous les débris de la montagne. Goldau fut écrasé par les fragmens des rochers, et Lowertz enseveli sous un torrent de fange. Le lac de Lowertz reçut une telle impulsion, que le village de Seven faillit être détruit par les vagues qui s'y précipitèrent, mais qui n'abattirent que deux maisons; le reste en fut quitte pour une inondation. Des poissons vivans furent portés jusques dans le village de Steinen.

Cet éboulement, qui n'était pas le premier qui se soit détaché de cette montagne, a coûté la vie à neuf cents personnes.

Plus récemment un éboulement, moins désastreux cependant, eut lieu à la Dent-du-Midi, dans les Hautes-Alpes, le 26 août 1835. Voici en quels termes M. Lardy le rapporte :

« .....Mardi, 25 août, un violent orage eut lieu, dans la soirée, tout autour de la Dent-du-Midi ; on prétend même que la foudre tomba à plusieurs reprises sur la cime. Le lendemain 26, entre 10 et 11 heures du matin, une portion assez considérable de cette cime se détacha tout-à-coup sur l'arête orientale et se précipita avec un bruit épouvantable sur le glacier, situé sur le revers méridional de la Dent, dont elle entraîna dans sa chute un immense quartier. Cette masse énorme de pierre et de glace vint s'abîmer dans un ravin profond qui sépare la Dent-du-Midi du col de Nalenfe, et dans lequel coule le torrent de Saint-Barthélemi.

« Bientôt on vit déboucher, de la gorge qui donne issue à ce torrent dans la vallée du Rhône, comme une montagne d'une boue noire et visqueuse, à la surface de laquelle flottaient des quartiers de roc de toutes les dimensions (il y en avait de 12 pieds de hauteur). Cette masse liquide, semblable à une coulée de lave, se dirigea vers le Rhône, au travers de la forêt de pins qui couvre cette partie de la vallée, entraînant avec elle tout ce qui se trouvait sur son passage. Des arbres de la plus grande taille furent renversés et froissés comme des roseaux. Arrivée sur la berge du fleuve, elle s'y précipita en formant une nappe de boue effrayante à voir. Les blocs qui se trouvaient dans cette boue furent également entraînés dans le Rhône, dont les eaux furent rejetées contre la rive opposée et refoulées

en amont à une assez grande distance. La grande route, recouverte par cette boue et ces pierres, devint impraticable, et il fallut construire, au moyen de fascines, un nouveau chemin sur ce sol élastique. Pendant plusieurs jours, les communications entre le Haut et le Bas-Valais n'ont pu avoir lieu qu'au milieu d'un pont très-peu solide qu'on avait jeté sur le torrent, à l'entrée de la gorge. Il est impossible de se représenter quelque chose de plus affreux que ce sillon de 60 à 100 pieds de profondeur, sur une largeur de 200 à 300 pieds, et qui va en s'élargissant jusqu'au Rhône, creusé dans cette boue actuellement figée et dont la surface est parsemée de blocs et de troncs d'arbres. Une petite portion seulement du rocher s'est écroulée sur le revers septentrional de la Dent-du-Midi, et descendant par un couloir, est venue recouvrir une partie du glacier qui se trouve de ce côté-là. »

M. Élie de Beaumont a donné aussi différens détails sur ce phénomène à une partie duquel il a assisté; il insiste particulièrement sur ce que lui a paru présenter de curieux la manière dont les courans de boue, produits par l'éboulement, se répandaient sur le vaste cône de débris, incliné de 5 à 7°, du torrent de Saint-Barthélemi. Ces torrens de boue ne renfermaient peut-être pas un dixième d'eau; ils déplaçaient des blocs calcaires de plusieurs mètres de côté, et ils les flottaient même sur leur surface, pendant des espaces considérables, presque aussi facilement qu'une rivière flotte des glaçons. Malgré la petitesse de ses dimensions, ce phénomène parut à M. Élie de Beaumont présenter de l'intérêt, à cause des inductions auxquelles il conduit, relativement au mode suivant lequel a pu s'opérer le transport des blocs diluviens.

M. Huot, qui fut également témoin d'une partie de

ce phénomène, ajoute qu'un nuage de poussière s'élevait à une grande hauteur plusieurs jours encore après l'événement, ce qui de loin produisait l'apparence d'un phénomène volcanique (1).

Les eaux infiltrées ne produisent pas toujours des accidens aussi graves. Quelquefois elles délayent seulement la surface d'une couche d'argile sur laquelle le terrain supérieur glisse tout entier. Un événement de ce genre eut lieu en 1818, près d'Avesnes (Nord). Une partie d'un petit bois, qui était situé sur une colline assez inclinée, se détacha entièrement avec une épaisseur de terrain d'environ six pieds. Je fus très-surpris, en allant herboriser dans ce bois, le matin, de le trouver au milieu d'une prairie. Les arbres avaient conservé, pour ainsi dire, leur distance respective, et je retrouvai dans une situation relativement la même les plantes que j'avais vues la veille sur le sommet de la colline.

Ce phénomène d'éboulement, produit par des infiltrations, a dû aussi être bien plus actif autrefois, puisque les pluies étaient plus abondantes, et d'ailleurs, il doit devenir de plus en plus rare, car les masses qui tendaient à se précipiter doivent, depuis long-temps, s'être détachées, et l'équilibre doit être établi. Ce ne sont plus que de très-petits accidens, tandis qu'à l'époque de la création ou du soulèvement des montagnes, ces catastrophes ont dû se montrer sous des proportions bien plus grandes et bien plus imposantes.

DE L'ACTION DES COURS D'EAU.

Nous voici arrivés à une cause d'action bien puissante à la surface du globe ; car les cours d'eau com-

---

(1) Institut, 4e année, p. 202.

mencent dès que la pluie touche le sol, dès que l'eau s'écoule d'une source, et depuis cette origine jusqu'à sa jonction avec la mer, l'eau coule, avance, corrode et emporte avec elle des débris qu'elle abandonne ensuite. C'est une force incalculable que celle de la chute de toutes ces eaux dans la mer, à partir du point où elles sont versées sur la terre par l'atmosphère.

Fidèle à nos habitudes, nous allons d'abord étudier les petits effets avant de passer aux grands.

Quand un filet d'eau marche sur un plan incliné, il appuie sur ce plan, et par conséquent il doit l'user à la fois par son poids et par son mouvement. Il faut presque toujours y ajouter une action chimique; car il dissout plus ou moins le corps sur lequel il s'écoule. Si la roche est dure, l'eau reste limpide, elle est à peine attaquée. Cependant, avec le temps, les parois sont polis et paraissent usés; ils le sont en effet. Si la roche est tendre, les mêmes effets ont lieu, mais bien plus rapidement. L'eau se trouble, elle charrie des matières pulvérulentes qui altèrent sa pureté. Un premier résultat est obtenu dans ces deux cas, c'est le creusement d'une petite vallée par érosion.

En suivant toujours notre filet d'eau, nous le verrons, quand la pente sera moins rapide, déposer ce qu'il aura entraîné un peu plus haut. Ce dépôt aura lieu plus ou moins promptement, et de telle manière, que les matières les plus lourdes seront au fond et les plus légères par-dessus. Il y aura donc eu transport de terrain d'un lieu dans un autre; il y aura eu creusement de *vallée* et formation de *delta*. La matière prise en *haut* a été déposée en *bas*, rien n'a été détruit, rien n'a été *créé*; il n'y a eu que changement de forme. Nous voyons tous les jours dans les champs, au milieu même de nos terres labourées, une petite

averse produire de nombreux filets d'eau, qui agissent comme nous venons de le dire. Ils creusent une petite ornière, et déposent un petit tas de sable en entrant dans le fossé qui est sur le bord du chemin. Il nous suffit d'agrandir le phénomène, pour l'appliquer, avec les mêmes détails, les mêmes caractères, aux ruisseaux, aux rivières et aux fleuves. Pour comprendre sa continuité, nous n'aurons qu'à supposer que l'eau qui a servi à charier ces matériaux est remontée pour être versée de nouveau, et il suffira pour cela de nous rappeler que l'évaporation est continue. Nous allons d'abord examiner comment les rivières dégradent le sol, nous verrons de quelle manière les matériaux sont transportés, et enfin nous étudierons la création de nouveaux terrains par dépôt ou sédiment.

Action érosive des cours d'eau.

Les roches les plus dures sont attaquées par l'eau, qui commence par en polir les parois et qui finit par les détruire. Il y a sans doute une action chimique qui favorise celle qui est due au simple frottement, mais ce dernier seul agirait encore.

On remarque surtout cette action érosive quand l'eau tombe perpendiculairement d'une grande élévation; aussi, dans les cascades, on trouve presque toujours à la base un creux très-profond que l'eau a formé, une sorte de gouffre dont elle sort en écumant. Les angles des fragmens de rochers qui sont tombés au bas de la cascade, sont arrondis peu d'années après leur chute, si ce sont des roches dures; peu de mois après, si les roches sont tendres. Quelquefois même il se forme des excavations latérales dans les points contre lesquels l'eau est renvoyée dans sa chute. Non-seulement le ravin

dans lequel elle s'élance s'élargit, mais la hauteur de la chute diminue journellement, d'abord par l'amoncellement des débris à sa base, et secondement par leur séparation du sommet. Le point de départ de l'eau recule continuellement et d'une manière très-sensible dans certains lieux. Aussi, dans les contrées volcaniques, il n'est pas rare de voir des courans de lave dont les bords sont ainsi dégradés par des cours d'eau; de grands quartiers de roches s'en détachent et il se forme une profonde échancrure dans la coulée. Si l'eau ruisselle dans des roches tendres, on voit bientôt se former des ravins très-étendus qui s'élargissent à mesure qu'elles descendent. On en voit beaucoup de ce genre en Auvergne, pays profondément raviné par les eaux. De la ville de Clermont on en aperçoit un sur la montagne de Chanturgue; on le désigne sous le nom de *Creux-Rouge*, à cause de la couleur des sables dans lesquels il est creusé. Le même pays offre de nombreux ravins creusés dans les argiles qui sont dégradées de la manière la plus bizarre. Chaque pluie d'orage change la forme des figures fantastiques que l'eau a sculptées dans l'argile, et elle s'échappe en véritables torrens de boue. Personne ne conteste cette action de l'eau sur un sol tendre et facilement attaquable; mais sans être aussi prononcée, elle est aussi certaine sur les roches du grain le plus fin et de la pâte la plus dure.

Déjà nous avons cité l'ouverture faite par le Potomack dans le Montagnes-Bleues; celle du fort l'Ecluse, pratiquée par le Rhône, ou plutôt par la masse puissante des eaux du lac de Genève, qui alors s'étendait jusque-là. Nous pourrions produire une foule d'exemples semblables.

M. Strangways a décrit, dans les *Transactions géolo-*

giques (1), la profonde échancrure où l'Imatra se précipite en chutes rapides et nombreuses. Cette rivière lui paraît avoir évidemment creusé ce profond ravin sur un plateau où elle coulait d'abord. Le bord de ce plateau, composé de gneiss, paraît aujourd'hui élevé de 50 pieds au-dessus du niveau de l'eau au bas de la cataracte. « Sa surface (du plateau) est en beauçoup de points tout-à-fait nue et profondément creusée dans une direction parallèle à celle de la rivière; elle est couverte de monceaux de galets et de blocs d'un gros volume, dont quelques-uns sont creusés et évidés sous les formes les plus bizarres. L'un des plus gros blocs laissés maintenant à sec, situé à peu près au milieu de la plateforme, est percé verticalement d'un trou cylindrique. » Il est bien évident, d'après cette description, que le lit de la rivière, primitivement très-large, s'étendait sur une partie du plateau dont une portion a été postérieurement attaquée et creusée assez profondément pour contenir les eaux, qui d'abord s'étendaient sur une grande surface.

M. d'Aubuisson a remarqué des traces bien manifestes de profondes érosions sur deux roches qui s'élèvent sur le bord du précipice que les eaux du Rhin vont franchir à Schaffouse où a lieu la belle chute de ce fleuve. Le Danube pénètre en Valachie par une étroite ouverture que ses eaux ont creusée, et que l'on nomme les *Portes de fer*. La Sioule, près Pontgibaud en Auvergne, s'est fait jour à travers une large coulée volcanique qui était venue barrer son lit. M. Lyell cite une gorge ouverte par la rivière de Simeto dans un courant de lave qui est à la base de l'Etna, et que l'on

(1) Vol. V, p. 341.

suppose le résultat de l'éruption de 1603. Si cette date est exacte, ce phénomène offrirait un grand intérêt, en ce qu'il donnerait approximativement la mesure de la force érosive de l'eau dans un espace donné. L'ouverture pratiquée par l'eau dans une lave dure et homogène, aurait, d'après M. Lyell, 40 à 50 pieds de profondeur, et sa largeur varierait depuis 50 jusqu'à plusieurs centaines de pieds (1). Quoi qu'il en soit, il paraît difficile d'admettre qu'une lave dure ait pu, en 230 ans, être attaquée de cette manière. En Auvergne, où l'on voit souvent des laves corrodées par les eaux, on est bien loin de rencontrer de semblables érosions pour un si court espace de temps. Il faut, si la date de la lave de l'Etna est certaine, qu'il y ait dans cette roche quelque tendance à la décomposition, comme on le remarque si souvent dans les roches volcaniques.

On a un grand exemple de la destruction rapide des terrains dans le saut du Niagara, qui chaque année recule vers le lac Erié d'une manière très-sensible. Il est bien évident qu'autrefois ce saut était sur le bord du lac Ontario. Il a déjà reculé de près de deux lieues, et il ne lui en reste plus que six à dégrader pour se trouver tout-à-fait sur le bord du lac Erié, dont le niveau devra alors baisser progressivement.

Une des preuves les plus convaincantes que les eaux ont une grande puissance d'érosion, c'est que les grands bassins dans lesquels l'eau s'évapore au lieu de couler vers la mer, sont entièrement privés de ces gorges ou portes, comme celles qui sont creusées par les eaux à l'issue des grands lacs, ou du moins si ces gorges existent, elles ont cessé de s'approfondir dès que les

---

(1) Lyell, *Principles of Geology*, p. 178.

eaux ont cessé d'y couler. Jamais on ne voit la moindre trace de ces dégorgeoirs dans les bassins fermés qui correspondent à des cavernes intérieures, comme les bassins de la Grèce qui ont été si bien décrits par MM. Virlet et Boblaye.

Nous pouvons donc regarder comme bien démontré que l'eau a une grande puissance érosive, qui reste cependant en rapport avec la vîtesse ou la chute du liquide, son abondance et la nature des terrains. Mais on ne peut nier que les débordemens périodiques des grands fleuves, comme ceux de l'Amérique, etc., n'aient une grande influence sur leur force érosive; car alors non-seulement ils charrient des terres et des fragmens de rochers, mais des arbres, des forêts entières et les animaux qui les habitaient. Tout le monde connaît les ravages que produit tout-à-coup une pluie d'orage qui ravine le sol et emporte quelquefois de grands espaces. Ce sont ces inondations accidentelles qui sont les plus terribles, surtout si elles sont accompagnées de grands coups de vent qui augmentent encore leur intensité. L'ouragan qui, en 1815, traversa toute la Jamaïque, produisit, par la masse d'eau qu'il versa en peu d'instans, une crue si subite de la rivière d'Yallahs, que les torrens qui l'alimentaient entraînèrent avec violence dans la mer tous les poissons qui s'y trouvaient, et pendant plus de dix ans on n'y rencontra aucun poisson d'eau douce.

Les eaux courantes agissent donc, comme on le voit, en dégradant la surface des terrains; mais ce qui se passe sur la terre peut avoir lieu à une certaine profondeur, et nous devons sans doute attribuer à la pression et à l'action long-temps prolongée de l'eau sur des roches calcaires, la formation de plusieurs cavernes.

Il faudrait bien se garder cependant d'attribuer à

l'action mécanique de l'eau le creusement de toutes les cavernes, car il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi, mais on ne peut lui refuser une certaine part dans leur création.

Les eaux des rivières corrodent souvent les roches contre lesquels elles s'appuient, et l'on doit attribuer à leur action non-seulement des cavités qui existent maintenant à la surface de l'eau, mais d'autres plus élevées qui ont été creusées à une époque antérieure. M. de Humboldt cite des effets de cette nature produits sur les roches qui bordent l'Orénoque :

« L'aspect géognostique de ces lieux, la forme insu-
» laire des rochers de Kerk et d'Oco, les cavités que
» les flots ont creusées dans le premier de ces co-
» teaux, et qui sont placées précisément à la même
» hauteur que les excavations qu'on voit dans l'île
» d'Aivituri, située vis-à-vis; ces apparences réunies
» prouvent que toute cette anse, aujourd'hui à sec,
» était jadis couverte par l'Orénoque. Les eaux formè-
» rent probablement un lac immense, aussi long-temps
» que la digue du Nord leur résista (1). »

On trouve des grottes creusées par les mêmes causes, dans une foule de vallées qui autrefois formaient de grands lacs. Les eaux ont agi progressivement, et ont pu déterminer une érosion plus ou moins étendue. Les cavernes creusées de cette manière sont remarquables par leur horizontalité, qui dépend non-seulement du niveau de l'eau, mais de la facilité avec laquelle certaines couches de roches peuvent se disgréger. Mais on voit quelquefois dans ces grottes des élargissemens, puis des étranglemens, qui sont dus évidemment

---

(1) Humboldt, *Tableaux de la nature*, t. I, p. 236.

à l'action toujours égale et constante de l'eau sur des roches de densité inégale, qui sur un point cédaient avec facilité, tandis qu'elles résistaient sur d'autres. Lorsque cette pression de l'eau n'a pas creusé de profondes cavernes, elle a souvent sillonné des rochers qui portent maintenant des traces bien positives d'anciennes érosions.

Des cavernes à étages, ou du moins des cavités fortement inclinées, peuvent encore devoir leur origine à la simple action mécanique de l'eau. Ainsi, quand le terrain est disposé en bassins fermés, comme dans le Jura, la Grèce, la Dalmatie, etc., c'est la forte pression du liquide, au milieu de ces bassins, qui détermine la création ou plutôt l'élargissement des cavernes. L'eau profite alors de la moindre fente, de la plus petite fracture; elle se glisse au point de jonction de deux rochers; elle déblaye et entraîne les couches d'argile les plus minces; enfin, quand elle a pu se frayer une issue et s'arrêter à un niveau plus bas, sa conquête est assurée, elle a tracé sa route. Bientôt ces canaux souterrains s'élargissent, des couches de sédiment sont entraînées en entier, et ce canal de décharge, d'abord étroit et peu étendu, s'agrandit dans toutes ses proportions, et finit par devenir une véritable caverne que l'eau ne remplit en entier que dans de rares circonstances. La vîtesse du ruisseau souterrain, ses chutes plus ou moins nombreuses, sont des causes qui activent la destruction du rocher, et agrandissent insensiblement la caverne. Celle du Guacharo, dans la vallée de Caripe, dont M. Humboldt a mesuré une étendue de 2,800 pieds, présente dans toute sa largeur un ruisseau, qui bien certainement l'a entièrement creusée, et qui vient sortir sous une arche de pierre. La direction de la caverne, sa pente qui aug-

mente insensiblement à mesure que l'on s'y enfonce; prouvent suffisamment la vérité de cette supposition.

De l'action des eaux pendant le transport des matériaux.

Une fois les matériaux arrachés aux terrains sur lesquels l'eau s'écoule, les fragmens sont entraînés pour être déposés plus loin.

S'ils sont très-gros, ils marchent très-vite sur une pente rapide, très-lentement sur une pente douce, où l'impulsion de l'eau est la seule cause de leur mouvement. L'inverse a lieu dans des circonstances contraires. On a calculé que l'action mécanique de l'eau ne pouvait avoir lieu si la vîtesse n'était au moins de 3 pouces par seconde au point de contact du courant avec le sol. Munie de cette faible puissance, l'eau peut entamer de l'argile déposée en couches denses et épaisses, elle parvient à y creuser un sillon et à entraîner les particules détachées. Avec une vîtesse de 6 pouces pour le même espace de temps, l'eau entraîne le sable fin, et le plus gros avec une vîtesse de 8 pouces. A 12 pouces, elle déplace les graviers; à 24, elle peut mouvoir des cailloux arrondis d'un pouce de diamètre, et il faut une vîtesse de 3 pieds par seconde pour qu'une rivière puisse entraîner des galets de la grosseur d'un œuf. (1) Que l'on juge d'après cela de la vîtesse nécessaire pour charrier ces gros blocs d'alluvions que nous rencontrons quelquefois dans le lit des anciennes vallées.

Les débordemens des cours d'eau, accidentels ou pé-

---

(1) *Encyclopédie britannique*, article *Rivières*.

riodiques, augmentent presque toujours beaucoup leur puissance érosive, et si l'eau en se chargeant d'une grande quantité de limon, se transforme en une espèce de boue liquide, alors elle peut emporter dans son cours de très-grosses masses de roches, dont la pesanteur, comparée au même volume d'eau, se trouve nécessairement diminuée par l'augmentation de densité du liquide. Non-seulement la terre végétale et les rochers sont emportés dans les débordemens, mais souvent aussi des animaux se trouvent surpris et noyés, les forêts sont arrachées, et les débris organiques sont d'autant plus facilement entraînés qu'ils surnagent le plus souvent ou n'excèdent que de très-peu la pesanteur de l'eau.

Les débris qui sont anguleux, comme le sont presque tous ceux qui viennent de se détacher des parois d'un cours d'eau, sont difficilement déplacés, mais ils éprouvent de continuels frottemens de la part des cailloux plus petits et déjà arrondis qui descendent avec la rivière, et ils finissent par prendre la forme ronde. Lorsqu'ils l'ont acquise, ils éprouvent encore entr'eux des frottemens réitérés qui en détachent des matières pulvérulentes que l'eau enlève aussitôt : c'est ainsi que les galets se polissent, s'arrondissent, et finissent même par se transformer en sable ou en gravier, au lieu de descendre directement jusque dans l'Océan.

Les galets que charrie un ruisseau sont ordinairement de même matière, parce que son cours étant peu étendu, est souvent tracé dans un terrain de même nature. Mais dans une rivière ou dans un grand fleuve, résultat d'un grand nombre d'affluens qui arrivent de localités très-différentes, on trouve des cailloux de toute espèce, et l'on suit facilement les divers degrés d'altérations qu'ils ont éprouvés. Ceux qui sont cal-

caires sont usés les premiers, et disparaissent entièrement au bout d'un certain trajet; les roches schisteuses, comme le gneiss, les micaschistes, s'altèrent aussi avec une grande rapidité, tandis que les quartz, les basaltes résistent et aident à la destruction de tous les autres.

Une fois les parcelles détachées, l'eau les enlève facilement, et on les voit quelquefois colorer entièrement des rivières, soit qu'elles proviennent de la destruction des galets, soit que l'eau les ait enlevées directement au terrain. Le mica surtout, qui se délite en paillettes légères, reste facilement suspendu, et voyage à de très-grandes distances.

Quand les cailloux sont durs, et qu'ils marchent sur un lit calcaire, il leur arrive quelquefois d'être arrêtés par une légère cavité. Le balancement qu'ils éprouvent facilite la disgrégation du sol qui est au-dessous d'eux. Il se forme bientôt une petite cavité dans laquelle le galet entre progressivement, il s'y enfonce tout-à-fait, et continue de creuser une sorte de chambre, quelquefois très-grande, proportionnellement au volume du caillou. Celui-ci, alors logé plus au large, oscille plus facilement, et fait l'effet d'un marteau qui agirait continuellement sur les parois de cette cavité. C'est surtout dans le voisinage des cascades que ces trous se forment et s'agrandissent le plus facilement. M. Humboldt en a observé de semblables au milieu de l'Orénoque; on en remarque souvent sur le lit calcaire de l'Allier, et au gour saillant près de Vichy.

Si les fragmens du règne inorganique que transportent les cours d'eau sont assujettis eux-mêmes à des chocs ou à des frottemens tellement multipliés qu'ils sont quelquefois détruits, à plus forte raison les débris

organiques doivent-ils être altérés par les mêmes causes. Il est bien rare, en effet, que des arbres, et par conséquent d'autres végétaux, puissent voyager longtemps sur l'eau sans être déchirés ou complètement écorcés.

Les grands trains de bois qui descendent le Mississipi et d'autres fleuves, sont tous plus ou moins altérés par leur frottement entre eux, et par les chocs qu'ils reçoivent des rochers contre lesquels ils viennent se heurter.

Il résulte de ces différentes observations que les matériaux arrachés aux continens par les cours d'eau, tendent toujours à se diviser et à se mélanger, et qu'il faut nécessairement de grandes crues, une pente très-rapide, ou une petite distance à parcourir pour que ces matériaux arrivent, portés par les fleuves, jusques sur les bords de l'Océan, où les vagues semblent les repousser.

De l'action créatrice de l'eau ou de ses dépôts.

Nous venons de voir comment l'eau corrode les divers terrains sur lesquels elle s'épanche, nous savons aussi les modifications qu'éprouvent les débris pendant leur trajet; étudions maintenant le mode d'abandon ou le dépôt de ces innombrables fragmens.

L'eau de source est toujours bien transparente et ne contient aucune matière en suspension. L'eau puisée en pleine mer est aussi limpide que l'eau de source. Par conséquent, tous les phénomènes relatifs à l'érosion du sol et aux dépôts de sédiment se passent entre les sources et la pleine mer. Les dépôts peuvent se faire d'une manière différente : d'abord sous forme de longues lignes sinueuses, indiquant le cours des fleuves et des ri-

vières ; ensuite sous forme d'amas plus ou moins irréguliers dans les lacs ou bassins que les cours d'eau traversent, ou sur le rivage à l'embouchure des fleuves ; enfin, les débris peuvent pénétrer dans l'intérieur du sol et remplir des fentes ou des cavernes. Nous allons étudier successivement ces différentes créations de terrain de transport.

Des dépôts riverains.

A l'époque actuelle, et dans nos climats, les dépôts riverains ont très-peu d'importance ; mais nous voyons former en petit ce que la nature fait plus en grand sous les climats chauds, et ce qu'elle a créé sous de bien plus grandes proportions autrefois. Les dépôts qui se forment dans le lit et sur les bords d'une même rivière, sont quelquefois différens, parce que le lit de la rivière offre des cavités que les déblais remplissent peu à peu, et que plusieurs d'entre eux ne peuvent dépasser. Si un cours d'eau est formé sans aucun étranglement de ses rives, de petits bassins que l'eau nivelle et remplit, on ne peut s'apercevoir à la surface de ces inégalités du fond, mais les cailloux qui y descendent ne peuvent en remonter, et finissent par combler ces très-petits bassins comme ils comblent de grands lacs, ainsi que nous le verrons plus loin. De fortes crues, en imprimant un mouvement rapide aux eaux, peuvent forcer quelques cailloux à franchir la digue, mais la masse principale reste dans le bassin.

Les affluens des cours d'eau déposent aussi, selon leur puissance et leur étendue, de petits deltas dans la branche principale. Ils apportent aussi les échantillons des contrées qu'ils ont traversées, et leurs dépôts varient en étendue et en épaisseur, selon la vîtesse relative des

deux eaux qui viennent se confondre. Ces petits amas de débris ont quelquefois une grande influence sur la direction des cours d'eau et sur les sinuosités des rivières. On voit de ces deltas détourner de leur marche de grands courans d'eau, qui se creusent un nouveau lit à côté de l'ancien; puis une inondation arrive, le delta est emporté et la rivière reprend son ancien lit. Il se passe tous les ans une foule d'événemens de ce genre dans nos petites rivières de France.

On remarque aussi sur les bords mêmes de ces rivières des dépôts analogues à ceux qui constituent les deltas. Ce sont des sables, des graviers, des cailloux roulés, qui forment plusieurs lignes parallèles, selon leur pesanteur. Les plus gros cailloux sont au bord de l'eau, les plus petits forment une zône au-dessus, les graviers les suivent, puis viennent les sables, et enfin une petite couche de limon léger recouvre cette petite bordure stratifiée. Une inondation peut la détruire et quelquefois l'augmenter, en sorte qu'il y a ainsi superposition de petites bandes de pesanteur spécifique différente. Ces dépôts riverains sont souvent interrompus dans leur uniformité par les affluens qui, formant eux-mêmes des deltas et de semblables dépôts, changent de lit et viennent les raviner. Chaque affluent apporte aussi de nouveaux matériaux à ces créations d'un jour, dont les formes et l'épaisseur varient à chaque instant.

Des substances végétales, telles que des branches d'arbres, des tiges de plantes herbacées, des graines osseuses, quelquefois des feuilles entières ou brisées, sont ensevelies sous la vase, ou maintenues par le poids des galets. Des coquilles d'eau douce, dont l'animal est mort, sont aussi rejetées sur les rives avec des coquilles terrestres que les pluies ou les affluens ont entraînées; des grains de fer oxidé, du fer titaniaté, quel-

quefois des paillettes d'or dégagées par une longue trituration des roches qui les renfermaient, viennent encore se mélanger à ces petits dépôts qui se prolongent sous l'eau, et exhaussent peu à peu le lit des rivières qui changent de place et coulent à côté (1). Ces petits dépôts de vase et de cailloux, exposés aux rayons du soleil, se dessèchent, se gercent et se fendent, et si une pluie ramène sur les mêmes lieux du nouveau limon, il pénètre dans les fentes, les remplit et fait corps avec l'ancien dépôt.

Tels sont les petits phénomènes qui se passent sur le bord de nos ruisseaux et de nos rivières; nous allons les voir grandir successivement, atteindre de gigantesques proportions, et si nous accordons à la nature le temps qui n'est rien pour elle et qui fuit si vîte pour nous, nous pourrons peut-être nous rendre compte de faits très-singuliers, quoique très-naturels, pour l'explication desquels les géologues ont généralement appelé à leur aide une série de cataclysmes imaginaires.

Des dépôts lacustres.

Puisque l'eau se dépouille elle-même dans les rivières de la plupart des détritus qu'elle entraîne, à plus forte

---

(1) Cet exhaussement est quelquefois si grand, que l'on est obligé de maintenir la rivière par des digues, comme on le voit dans la plaine de Nice. Quand les eaux sont basses, on rejette sur les côtés les dépôts formés dans le lit, et l'on forme ainsi deux rives artificielles qui servent à garantir les plaines. Le Pô montre un exemple bien connu de cette élévation du lit d'une rivière, car il est devenu plus haut que les maisons de la ville de Ferrare. Le même phénomène s'observe encore en Hollande, quoique sur une plus petite échelle. (De Labèche, *Manuel de Géologie.*)

raison devra-t-elle abandonner dans le bassin des lacs toutes les matières qu'elle tient en suspension. Les phénomènes que nous venons d'étudier se reproduiront, et les couches de dépôt, au lieu de former des lignes parallèles et étagées, donneront naissance à des couches superposées et plus ou moins inclinées. Les débris organiques s'y placeront de la même manière, y resteront enfouis, et seront par la suite autant de fossiles que les géologues futurs rechercheront avec le même intérêt que nous mettons à étudier les anciens habitans de la terre.

Les grands lacs que l'on trouve au pied de plusieurs chaînes de montagnes, et notamment dans les Alpes, arrêtent à peu près tous les débris que les torrens arrachent aux rochers. Ils s'y déposent et élèvent continuellement le fond de ces bassins; cependant ils ne s'étendent pas très-loin du point où ils se précipitent. Les cailloux les plus gros tombent les premiers, puis les sables, et le limon qui, selon les observations de M. de Labèche, s'avance d'une lieue un quart dans le lac de Genève. Au reste, ces dépôts terrestres doivent s'étendre plus ou moins sur le fond du lac, selon la vîtesse d'impulsion qu'ils ont reçue, la profondeur à laquelle ils descendent, et l'inclinaison du fond qui les reçoit. La pression de l'eau, à une grande profondeur, doit encore agir d'une manière sensible sur leur extension et sur leur tassement.

Les débris organiques doivent aussi se déposer bien plus régulièrement dans les lacs que sur le bord des fleuves. Les poissons qui y meurent ne sont pas entraînés par le courant, les coquillages restent au fond des eaux, et se stratifient régulièrement avec les sables et le limon; les couches qui s'y forment ne sont pas horizontales, elles sont inclinées, quoique faible-

ment, sur certains points, et elles sont adossées par ordre de densité ou de pesanteur contre les parois du lac.

Tous les lacs seront remplis par la suite de ces détritus arrachés aux montagnes. Le fond qui s'exhausse continuellement, la digue qui se ronge sans cesse, font sortir du lac une quantité d'eau qui serait plus grande que celle qui y pénètre, si l'évaporation qui a lieu à la surface n'enlevait aussi une certaine quantité de liquide. Il faudra sans doute des siècles pour que de tels effets soient produits sur les lacs très-profonds, comme celui de Genève; mais déjà plusieurs autres commencent à se combler. Le lac de Neufchâtel contient déjà beaucoup de débris; la partie supérieure du lac de Côme n'a presque plus de profondeur par l'abondance des terrains d'alluvion qu'y ont déposés la Mera et surtout l'Adda; le lac du Bourget n'est plus qu'un faible témoin de la présence des eaux dans tout le bassin de Chambéry, encore ce dernier a-t-il plutôt baissé par l'érosion de sa digue que par l'accumulation des terrains de transport. Un grand nombre de lacs dont les contours sont parfaitement déterminés, sont maintenant transformés en plaines fertiles, dont le sol n'offre que des dépôts d'alluvion. La Bohême, la Limagne d'Auvergne, la plaine de Florence, celle d'Aurillac dans le Cantal, sont des exemples de ces bassins remplis, dont la vase desséchée et ameublie par une grande quantité de débris, s'est transformée en campagnes fertiles et populeuses.

Des dépôts formés à l'embouchure des fleuves.

Nous venons de faire observer que les détritus amenés par les rivières dans les lacs, ne s'étendaient pas

sur toute la superficie du fond des lacs, lorsque ceux-ci ont une certaine étendue. La même observation s'applique avec plus de raison à la mer, dont l'immense étendue n'est pas en rapport avec les petites ouvertures des continens qui sont occupées par les fleuves. Aussi les dépôts se forment le long des côtes, et, excepté au voisinage de quelques grands cours d'eau qui, pendant leurs crues, ont une force prodigieuse, la mer est pure et transparente à quelques lieues de leur embouchure. Si, sur plusieurs points, la mer semble entamer les terres et s'y creuser des golfes, sur de plus grands espaces elle est comblée par le dépôt des fleuves qui tendent à augmenter nos continens. De puissans atterrissemens ont donné naissance à de vastes contrées récemment sorties du sein des eaux. Ainsi la Hollande, que ses habitans ont émergée avant le temps fixé par la nature, est due aux dépôts du Rhin, de l'Escaut et de la Meuse. Elle est formée aux dépens des terres de la France et de l'Allemagne. Une partie du Bengale doit son origine aux alluvions du Gange, et la Basse-Egypte aux terres transportées par le Nil. La forme triangulaire du sol formé par le Nil lui a fait donner par les Grecs le nom de *delta*, que l'on applique aujourd'hui presque indistinctement à toutes les contrées que les eaux ont nouvellement créées.

Les deltas se forment dans les méditerranées et dans l'Océan; mais ces derniers ont à lutter contre un obstacle qui influe sur leur développement : c'est le phénomène des marées. Les autres se déposent tranquillement à l'embouchure des fleuves, et nous venons d'en citer tout à l'heure quelques exemples.

Le Delta du Nil s'accroît tous les jours d'une manière remarquable. La profondeur de la mer augmente d'environ une toise par mille ; et on a calculé, en supposant

que le dépôt du Nil soit le même près de la mer que dans la Thébaïde, que le Delta doit s'être accru d'environ un mille et un quart depuis le temps d'Hérodote. D'après M. Girard, le Nil a élevé la surface de la Haute-Egypte d'environ 6 pieds 4 pouces depuis le commencement de l'ère chrétienne. Le Delta est traversé par deux courans principaux, qui se séparent l'un de l'autre à quelques milles au-dessous du Caire; l'un descend à Rosette, l'autre à Damiette. La position actuelle de cette dernière ville, dit M. de la Bèche, a donné lieu à des idées très-exagérées sur l'accroissement rapide de ce delta. On a supposé que la ville actuelle était la même que celle qui, pendant la première croisade de saint Louis, était située sur le bord de la mer; et comme aujourd'hui Damiette est à deux lieues de la mer, on en a conclu que cette distance avait été produite par les eaux du Nil dans l'espace d'environ 600 ans. Cependant il paraît aujourd'hui certain, d'après les travaux de M. Renaud, qu'après le départ de saint Louis, les émirs d'Egypte, voulant prévenir une nouvelle invasion du même côté, détruisirent l'ancienne Damiette, et fondèrent dans l'intérieur une nouvelle ville qui serait la Damiette actuelle. Par suite de l'effet des vagues et des courans, des bancs se sont amoncelés sur les deux côtés extérieurs du Delta, où ils forment des lacs, ainsi qu'on peut le voir sur la magnifique carte publiée par l'Institut d'Egypte.

Le Pô forme aussi à son embouchure un delta très-remarquable par la vîtesse de son accroissement. M. de Prony, qui a étudié avec soin les atterrissemens de ce fleuve, rapporte d'abord que le Pô a souvent changé de lit; ainsi, au douzième siècle, toutes les eaux du Pô coulaient au sud de Ferrare, tandis que maintenant il coule à environ une lieue au nord de cette ville.

« Il paraît bien constaté, dit M. de Prony, que le » travail des hommes a beaucoup contribué à une di- » version des eaux du Pô. Les historiens qui ont parlé » de ce fait remarquable ne diffèrent entre eux que » par quelques détails. La tendance du fleuve à suivre » la nouvelle route qu'on lui avait tracée, devient de » jour en jour plus énergique. Ses deux branches du » *Volano* et du *Primaro* s'appauvrirent rapidement, » et furent, en moins d'un demi-siècle, réduites à peu » près à l'état où elles sont aujourd'hui. Le régime » du fleuve s'établissait entre l'embouchure de l'*Adige* » et le point appelé aujourd'hui *Porto di Goro*; les » deux canaux dont il s'était d'abord emparé étant » devenus insuffisans, il s'en creusa de nouveaux, » et, au commencement du 17e siècle, sa bouche » principale, appelée *Bocco di Tramontana*, se trou- » vait très-rapprochée de l'embouchure de l'Adige. » Ce voisinage alarma les Vénitiens, qui creusèrent, » en 1604, le nouveau lit appelé *Taglio di Porto viro* » ou *Po delle fornaci*, au moyen duquel la *Bocca* » *maestra* se trouva écartée de l'Adige du côté du » midi. »

M. de Prony pense qu'à une époque dont la durée ne peut pas être assignée, la mer Adriatique baignait les bords d'Adria. Déjà au douzième siècle, avant que la route dont nous venons de parler n'eût été ouverte, le rivage de la mer s'était éloigné d'Adria de 9 à 10,000 mètres. L'an 1600, et par conséquent quatre ans avant le creusement du *Taglio di Porto viro*, les pointes des promontoires formées par les deux principales bouches du Pô se trouvaient à une distance moyenne de 18,500 mètres d'Adria, ce qui donne, depuis l'an 1200, une marche d'alluvion de 25 mètres par an. M. de Prony ajoute encore : « que la pointe du pro-

» montoire unique, formée par les bouches actuelles,
» est éloignée de 32 ou 33 mille mètres du méridien
» d'Adria; d'où on conclut une marche moyenne des
» alluvions d'environ 70 mètres par an pendant ces
» deux derniers siècles, marche qui, rapportée à des
» époques peu éloignées, se trouverait être beaucoup
» plus rapide. »

Nous n'insisterons pas davantage sur les deltas de la Méditerranée qui, comme on le voit, tend à se combler continuellement par le dépôt des fleuves; il ne paraît pas cependant, malgré l'absence des marées, que les détritus amenés par les cours d'eau puissent s'étendre bien avant dans la mer.

Les deltas des grands fleuves qui viennent se rendre dans l'Océan, se forment quand les marées et les courans n'ont pas assez de force pour les détruire, ce qui arrive dans plusieurs circonstances. Nous allons donner quelques exemples de ces grands atterrissemens; nous les empruntons à M. Lyell, qui a publié, dans ses *Principles of Geology*, des observations si nombreuses et si remarquables sur la puissance créatrice actuelle des eaux. C'est presque une traduction littérale que nous allons reproduire (1).

Delta du Gange. — Le Gange et le Burrampooter descendent des plus hautes montagnes du monde dans un golfe qui pénètre de 225 milles (82 lieues) dans le continent. Le Burrampooter est de quelque chose le plus grand des deux fleuves; il change d'abord son nom

(1) Je dois la traduction de ce chapitre remarquable de la *Géologie de M. Lyell*, à l'obligeance de M. de Caze, ingénieur des ponts-et-chaussées.

pour celui de Megna, après avoir reçu les eaux d'une rivière plus petite ainsi appelée; puis il perd cette seconde dénomination après sa réunion au Gange, à la distance d'environ 40 milles (14 lieues) de la mer. La surface du delta du Gange, sans y comprendre celui du Burrampooter, qui lui est maintenant réuni, surpasse de beaucoup plus du double celle du delta du Nil. La distance de son origine à la mer est de 220 milles (80 lieues). La partie du delta voisine de la mer est coupée par un labyrinthe de canaux et de criques dont les eaux sont salées, excepté dans les branches qui sont en communication immédiate avec le principal bras du Gange. Cette partie, connue sous le nom des Woods ou des Sunder-Bunds, désert infesté par les tigres et les alligators, est, suivant Rennel, égale en étendue à toute la principauté de Galles. La base de ce magnifique delta a 200 milles (72 lieues) de longueur, dans l'espace enfermé entre les deux grands bras du Gange qui l'enveloppent des deux côtés.

Sur la côte, on remarque huit grandes échancrures; chacune d'elles, à des époques reculées, a servi successivement de lit principal au fleuve. Quoique la marée se fasse sentir jusqu'à la tête du delta lorsque les eaux sont basses, cependant lorsqu'elles sont gonflées par les pluies périodiques du tropique, la rapidité du courant combat le remous de la mer avec assez de force pour en rendre l'effet insensible, excepté dans les parties les plus voisines de l'embouchure. Ainsi, pendant la saison des crues, le Gange a presque le caractère d'une rivière qui se jette dans un lac ou dans une mer intérieure; les agitations de l'Océan sont alors dominées par la puissance du fleuve, et ne dérangent que faiblement ses opérations. Les grands accroissemens du delta, en hauteur et en étendue, ont lieu pendant les inonda-

tions, et pendant les autres saisons, l'Océan fait ses reprises, creusant des canaux et enlevant quelquefois de riches alluvions.

Si grande est la masse de vase et de sable roulée dans le golfe par le Gange pendant la saison des crues, que la mer ne reprend sa transparence qu'à la distance de 60 milles (22 lieues) de la côte; la pente générale des nouveaux dépôts doit donc être très-régulière. Par des renseignemens récemment publiés, il paraît qu'en s'avançant de la base du delta dans le golfe du Bengale, à une distance d'environ 100 milles (36 lieues), la profondeur croît progressivement de 4 à 60 fathoms (de 7 à 110 mètres). Sur quelques points, à cette distance, on trouve une profondeur de 70 et même de 100 fathoms (130 et 180 mètres).

Une anomalie remarquable trouble cependant la régularité générale du fond du golfe. En face du milieu du delta, à la distance de 30 ou 40 milles (de 11 à 15 lieues) de la côte, on trouve un espace presque circulaire appelé *Swatch of no Ground*, d'environ 15 milles (5 lieues et demie) de diamètre, où des sondes de 100 et même 130 fathoms (180 ou 240 mètres) n'ont pu atteindre le fond. Ce phénomène est d'autant plus extraordinaire, que la dépression a lieu 5 milles (2 lieues) en avant de la ligne des bas-fonds; et non-seulement les eaux chargées du Gange passent continuellement sur ce point, mais encore, pendant les moussons, la mer pousse du sable et des vases dans cette direction vers le delta. Comme on sait que les vases s'étendent à 80 milles (29 lieues) plus loin dans le golfe, on peut être certain que l'accumulation des dépôts dans le Swatch, depuis le cours des siècles, a été d'une hauteur énorme; et il semble que l'on soit autorisé à conclure de la profondeur actuelle de ce point, que les inégalités primitives

du golfe du Bengale étaient sur une aussi grande échelle que celle de la pleine mer.

A l'opposé de l'embouchure de l'Hoogly, et immédiatement au sud de l'île de Sager, à quatre milles du point le plus voisin du delta, il s'est formé depuis trente ans une nouvelle île, nommée l'île d'Edmonston; un phare y est établi, et sa surface est maintenant couverte de plantes et d'arbrisseaux. Mais tandis que les progrès rapides du delta en quelques points sont en évidence, l'avancement général de la côte est très-lent; car les marées, qui s'élèvent de 13 à 16 pieds (4 à 5 mètres), travaillent activement au transport des matières d'alluvion et les répandent sur une vaste surface. Une notice publiée en 1825, par le capitaine Horsboerg, établissait que, sur toute la largeur du delta, les sables étaient plus avancés au sud de 4 à 5 milles (1 lieue et demie à 2 lieues) que quarante ans auparavant, et on considérait ce résultat comme la mesure des progrès du delta pendant cet espace de temps. Mais l'auteur a informé M. Lyell qu'une comparaison plus approfondie des anciens renseignemens, l'a convaincu de l'extrême incorrection des latitudes indiquées, de sorte que le progrès prétendu des sables du delta serait très-exagéré. Les nouveaux dépôts sont uniquement formés de sable et de terre très-fine. Tels sont, au moins, les seuls élémens exposés à la vue dans les bancs réguliers des rives des nombreux criques du delta; aucune substance un peu lourde, comme du gravier, ne se rencontre dans aucune partie du delta, ni plus près de la mer qu'à 400 milles (145 lieues). Il faut observer cependant que les lits supérieurs d'alluvion qui se précipitent rapidement des eaux troubles durant les crues, peuvent être très-différens de ceux qui se déposent à une grande distance du rivage. Là, il se forme peut-être des pré-

cipités cristallins, par l'évaporation d'une si grande surface exposée aux rayons du soleil des tropiques; la précipitation du sable et des autres matières tenues en suspension mécanique, peut avoir lieu là même où les courans les entraînent; mais les substances minérales tenues en suspension chimique sont naturellement emportées à de plus grandes distances, où elles servent à la formation des coraux et des coquilles, et peut-être deviennent le ciment de nouvelles roches.

On creusa un puits au Fort-William à Calcutta pour avoir de l'eau; on traversa des lits d'argile compacte jusqu'à une profondeur de 146 pieds (44 mètres). On entra alors dans un banc de sable jaune, et à la profondeur de 152 pieds (46 mètres), on retrouva l'argile.

Formation et destruction d'îles. — La quantité immense des matières solides transportées par le Gange et le Megna est démontrée par l'étendue des îles formées dans leurs bras, pendant la courte période de la vie d'un homme. Quelques-unes d'entre elles, de plusieurs milles d'étendue, ont eu pour origine de larges bancs de sable déposés aux environs d'un tournant du fleuve, et isolés ensuite par une irruption des eaux. D'autres, formées dans le canal même, ont eu pour cause quelque obstacle du fond. Un grand arbre ou un bateau échoué sont quelquefois suffisans pour briser le courant et amener un dépôt de sable qui s'amasse ensuite jusqu'à usurper une portion considérable du lit du fleuve. Le courant attaque alors chaque rive pour suppléer au rétrécissement de son lit, et à chaque crue de nouveaux dépôts viennent élever le niveau de l'île. Dans le grand golfe, au-dessous de Luckipour, formé par les eaux réunies du Gange et du Burrampooter

ou Megna, quelques-unes de ces îles, suivant Rennel, rivalisent en beauté et en fertilité avec l'île de Wight. Tandis que le fleuve forme des îles nouvelles d'un côté, d'un autre côté il en détruit d'anciennes. Les îles nouvelles sont ordinairement couvertes de roseaux, de longues herbes, de tamarix indica et d'autres arbrisseaux, formant d'impénétrables halliers où les tigres, les buffles, les daims et autres animaux sauvages trouvent un asile. Il est donc facile de concevoir que des restes d'animaux et de végétaux soient sans cesse emportés par les eaux, et soient quelquefois enveloppés par les dépôts du delta.

Deux sortes de crocodiles, de genres distincts, abondent dans le Gange et ses affluens. M. R. H. Colebroke a dit à M. Lyell avoir rencontré les deux espèces dans l'intérieur des terres, à plusieurs centaines de milles de la mer. Le crocodile du Gange ou gavial, et plus correctement garial, ne sort pas de l'eau douce; mais le crocodile commun se trouve dans l'eau douce et l'eau salée. Dans les eaux saumâtres ou salées, il acquiert beaucoup plus de grandeur et de férocité. Ces animaux fourmillent dans l'eau saumâtre, le long des bancs de sable où les progrès du delta sont les plus rapides. On en voit des centaines dans les criques du Delta, ou se chauffant au soleil sur les bas-fonds. Ils attaquent les hommes et les animaux, enlevant les naturels lorsqu'ils se baignent, et les animaux privés ou sauvages lorsqu'ils viennent boire. J'ai été souvent témoin, dit M. Colebroke, de l'horrible spectacle des cadavres flottans, saisis par un crocodile avec tant d'avidité qu'il sortait à moitié de l'eau avec sa proie dans la gueule. Le géologue ne manquera pas d'observer combien les habitudes et le séjour de ces sauriens les expose à être enveloppés dans ces dépôts horizontaux de terre fine

qui sont annuellement déposés sur plusieurs milles carrés de la baie du Bengale. Lorsque les animaux terrestres sont entraînés par les eaux, ils sont habituellement dévorés par ces reptiles voraces, mais nous pouvons supposer que les restes des sauriens eux-mêmes sont enveloppés dans les nouvelles formations.

Inondations. — Il arrive quelquefois, dans la saison des hautes crues, que le concours d'un vent violent et d'une haute marée arrête le courant descendant de la rivière et donne lieu aux inondations les plus destructrices. Par un effet de ce genre, en 1763, les eaux s'élevèrent à Luckipour de six pieds (1, 80 mètres) au-dessus de leur niveau ordinaire, et les habitans d'un district considérable avec leurs maisons et leurs bestiaux furent entièrement emportés par les eaux.

La population des deltas de l'Océan est particulièrement exposée à de telles catastrophes revenant à de longs intervalles, et l'on peut assurer que des événemens tragiques de ce genre se sont plusieurs fois répétés depuis que le delta du Gange est habité par l'homme. Si l'expérience et la prévoyance des hommes ne peut toujours les garantir contre de semblables malheurs, encore moins les animaux peuvent-ils les éviter; et les monumens de ces inondations désastreuses doivent se trouver en abondance dans les dépôts de tous les âges, si la surface de notre planète a été toujours soumise aux mêmes lois. Quand nous réfléchissons à l'ordre général et à la tranquillité qui règnent dans le riche et populeux delta du Gange, malgré les ravages continuels de l'Océan, nous reconnaissons combien il est inutile d'attribuer le dépôt des races successives d'animaux dans les formations anciennes à des causes extraordinaires de décadence et de reproduction

dans l'enfance de notre globe, ou à ces catastrophes générales et ces révolutions soudaines alléguées par les cosmogonistes.

Delta du Mississipi. — Les marées du golfe du Mexique sont si faibles que le delta du Mississipi a comme un caractère intermédiaire entre les deltas de l'Océan et ceux des méditerranées. Une longue et étroite bande de terre s'est formée, offrant simplement, de chaque côté, le talus des rives du fleuve qui l'entoure, et offrant précisément l'apparence de ces crêtes continues, dont le sommet s'élève au-dessus des eaux dans l'inondation d'une plaine. Cette langue de terre s'est avancée de plusieurs lieues depuis la construction de la Nouvelle-Orléans. De grands dépôts souterrains vont aussi en augmentant sur une grande étendue du fond de la mer, qui, dans un rayon considérable, est devenue très-basse, n'ayant pas plus de dix fathoms (18 mètres) de profondeur. En face de l'embouchure du Mississipi, de larges radeaux d'arbres flottans, entraînés chaque printemps, sont entrelacés sur plusieurs yards (yard = 0,91 mètres) de hauteur, et couvrent des centaines de lieues carrées; ils sont ensuite couverts d'un lit de vase sur lequel, l'année suivante, se déposent de nouveaux arbres, de manière à former de nombreuses alternances de matières minérales et végétales.

Succession des dépôts. — Une observation de Darby à l'égard des dépôts qui composent une partie de ce delta, mérite l'attention. Sur les rives escarpées de l'Atcha-Falaga, bras du Mississipi, auquel se rapporte ce que nous avons dit sur les radeaux naturels, on aperçoit la coupe suivante dans les basses eaux : d'a-

bord, un dépôt supérieur consistant invariablement en une argile bleuâtre commune aux rives du Mississipi; au-dessous, un banc de terre rouge ocreuse, particulière à la Rivière-Rouge, et sous laquelle reparaît de nouveau l'argile bleue du Mississipi. La constance de cette disposition prouve, comme ce géographe le remarque, que les eaux du Mississipi et de la Rivière-Rouge ont autrefois successivement occupé des espaces considérables au-dessous du point actuel de leur réunion. De pareilles alternances sont probablement communes dans les espaces sous-marins situés entre deux deltas qui convergent; car avant la réunion des deux fleuves, il doit presque toujours y avoir une certaine période de temps où l'espace qui les sépare est alternativement couvert et abandonné par les eaux de chacun d'eux, la saison des plus hautes eaux de l'un devant rarement correspondre précisément à la même saison de l'autre. Dans le cas, par exemple, de la Rivière-Rouge et du Mississipi, dont les eaux viennent de pays situés sous des latitudes très-différentes, une coïncidence exacte, dans le temps des plus grandes inondations, est tout-à-fait improbable.

Conclusions sur les deltas. Volume des sédimens apportés par les rivières. — On n'a encore fait qu'un petit nombre d'expériences satisfaisantes pour déterminer, avec quelque exactitude, la quantité de matières solides portées annuellement à la mer par quelques-unes des principales rivières du globe. Hartsocker a trouvé que le Rhin, dans ses crues les plus fortes, tenait en suspension une partie sur cent de matière solide, en volume. D'après quelques observations de sir Georges Haunton, il paraît que l'eau de la rivière Jaune, à la Chine, contient un deux cen-

tième de matières solides; et il a calculé qu'elle en transportait par heure deux millions de pieds cubes ou quarante-huit millions par jour, de sorte que si la mer Jaune n'avait que cent vingt pieds de profondeur, il ne faudrait que soixante jours au fleuve pour convertir un mille carré anglais en terre ferme, et vingt-quatre mille ans pour transformer toute cette mer en terre ferme, en admettant cent vingt-cinq milles carrés pour sa surface. Manfredi, célèbre hydrographe italien, portait à $\frac{1}{175}$ le volume des matières solides portées à la mer par les eaux de tout le globe, et il estimait à mille ans le temps nécessaire pour que ces dépôts élevassent d'un pied le niveau général de la mer. Quelques écrivains, au contraire, comme de Mailler, ont prétendu que les eaux les plus troubles contenaient une proportion de matières solides bien moindre que les estimations précédentes ne le supposaient. Il existe de telles contradictions et de telles incompatibilités dans les faits et les théories jusqu'ici publiées, qu'il faut attendre de nouvelles expériences pour se former une opinion à ce sujet.

Calcul de Rennel sur les sédimens transportés par le Gange. — Un des résultats les plus extraordinaires est fourni par le major Rennel, dans son excellente notice, que nous avons déjà citée, sur le delta du Gange. « Un verre d'eau, dit-il, puisé dans le fleuve pendant ses crues, contient presque un quart de matières solides. Qu'on ne s'étonne donc plus des dépôts rapides des eaux ou des progrès du delta sur la mer. » Le même hydrographe, a calculé avec beaucoup de soin le cube des eaux versées à la mer par le Gange, et il l'a évalué, pour toute l'année, à 180,000 pieds cubes (5,040 mètres cubes) par seconde. Lorsque les eaux sont très-hautes, et la vîtesse du courant la plus forte, le produit est de

405,000 pieds cubes (11,490 mètres cubes) par seconde. D'autres écrivains, ayant égard à la violence des pluies des tropiques, et à la finesse des dépôts d'alluvions des plaines du Bengale, expliquent comment les eaux du Gange se trouvent chargées de matières solides, dans une proportion que ne peuvent atteindre les plus grands fleuves de l'Europe dans leurs plus fortes crues.

Nous avons déjà parlé de la destruction de vastes îles par le Gange; le major R. H. Colebroke, dans son voyage du Gange, rapporte des exemples du rapide encombrement de quelques-uns des bras du fleuve, et de la formation de nouvelles branches, où la surface du sol, ainsi remuée en peu de temps, sur une hauteur de cent quatorze pieds (35 mètres), est vraiment étonnante. Quarante mille carrés, ou 2,600 acres, 1,050 hectares furent emportés, dans une seule localité, dans le cours d'un petit nombre d'années. Quoique nous puissions facilement admettre que la quantité des matières solides transportées par les eaux du Gange surpasse la proportion offerte par un fleuve quelconque du nord, nous sommes cependant arrêtés par les résultats auxquels nous arriverions en comparant la proportion assignée par Rennel au volume d'eau dépensé, lequel est probablement très-exact. S'il était vrai que le Gange, dans la saison des crues, contînt un quart de matière solides, il faudrait admettre que ce fleuve, en quatre jours, transporte une masse solide égale au volume d'eau qu'il verse en vingt-quatre heures. Si nous prenons pour pesanteur spécifique des matières transportées, la moitié de celle du granite (résultat inférieur aux faits), le poids de la masse journellement transportée serait environ égal à soixante-quatorze fois celui de la grande pyramide d'Egypte. Et en admettant seulement que les eaux du

Gange ne contiennent qu'un centième de matières solides, ce qui est possible, et ce que l'on assure être la proportion pour les eaux du Rhin, nous arriverions encore à cette conclusion extraordinaire, qu'il arrive chaque jour dans la baie du Bengale une masse supérieure en poids et en volume à la grande pyramide.

Suivant Rennel, le Gange verse, dans la saison des crues, 405,000 pieds cubes (11,490 mètres cubes) par seconde, ce qui donne en nombre rond 100,000 pieds cubes (2,870 mètres cubes) par 1″ de matières solides, et multipliant par 86,400″, durée d'un jour, 8,640,000,000 pieds cubes (247,968,000 mètres cubes) par jour. En supposant la densité de ces matières moitié de celle du granite, leur poids équivaudra à celui de 4,320,000,000 pieds cubes (123,984,000 mètres cubes) de granite. Maintenant, douze pieds cubes et demi de granite pèse environ une tonne, et l'on a calculé que la grande pyramide, si elle était une masse solide de granite, pèserait 6,000,000 de tonnes. (La tonne angl. = 1,015 kil.) Le courant de lave le plus considérable qui soit sorti de l'Etna, depuis les temps historiques, est celui de 1669. Ferrara calcula que la masse de ce courant s'élevait à cent quarante millions de yards cubes; 106,904,000 mètres cubes; et cependant cette masse n'offrirait pas un quinzième de l'épaisseur des sédimens charriés par le Gange en une seule année, en supposant que ceux-ci ne soient que le centième des eaux du fleuve. Ainsi, en supposant quinze grandes éruptions par siècle, il faudrait cent Etnas pour rejeter à la surface de la terre une masse de lave égale en volume aux sédimens qui, pendant le même temps, descendraient de l'Himalaya dans la baie du Bengale.

D'après le calcul de Ferrara, il sortit de l'Etna, en 1669, environ 140,000,000 de yards cubes, ou, en mul-

tipliant par 27, 3,780,000 de pieds cubes. Or, le Gange, en supposant qu'il contienne un centième de matières solides, sur un produit de 180,000 pieds cubes par 1″, contiendra 1,800 pieds cubes de sédimens, qui, multipliés par 31,557,000, nombre de secondes d'une année, donnent pour le produit annuel 56,803,680,000 pieds cubes environ, quinze fois la masse de la lave de l'Etna.

On a fait un grand travail pour évaluer la masse des laves de Sicile, de Campanie et d'Auvergne; il est extraordinaire qu'un travail analogue n'ait pas été fait pour les matières transportées par les eaux. Il ne serait pas difficile d'avoir le chiffre approché des sédimens charriés par quelques-uns des grands fleuves, tels que les Amazones, le Mississipi, le Gange et autres, parce que la ténuité des matières transportées aux deltas les fait tenir à peu près uniformément dans les eaux, et que l'époque principale des transports est à peu près limitée à la saison des crues. On a lutté en vain pendant un demi-siècle, contre l'opinion que l'action des eaux courantes, à l'époque actuelle, continuée même indéfiniment, serait tout-à-fait incapable de produire de notables inégalités à la surface de la terre. Que l'on recueille des faits, nous pouvons assurer avec confiance, dit toujours M. Lyell, que le calcul de la masse transportée par les eaux, pendant un nombre donné de siècles, pour un vaste continent, donnera un résultat étonnant pour ceux qui ne se sont pas habitués à l'idée que la nature opère insensiblement ses effets les plus puissans sans bruit et sans désordre : le volume des matières charriées à la mer une fois calculé, quelques géologues pourront admettre que, sauf quelques exceptions, la totalité de ces matières provient des vallées et non des sommets des monta-

gnes; en d'autres termes, que les anciennes vallées ont été creusées, et que les nouvelles se creusent en proportion de l'espace occupé par les nouveaux dépôts, lorsqu'ils sont consolidés.

Les changemens survenus dans les deltas, même depuis les temps historiques, peuvent suggérer d'importantes remarques sur le mode de distribution des dépôts sous les eaux. Malgré les fréquentes exceptions résultant de l'interruption ou de la variété des causes, il y a quelques lois générales d'arrangement qui doivent se développer dans presque tous les lacs ou mers qui se comblent. Si, par exemple, un lac est entouré de deux côtés de montagnes qui lui versent leurs eaux, et s'il est borné du troisième, par où l'excès des eaux s'écoule par un pays comparativement bas, il n'est pas difficile de définir quelques-uns des accidens géologiques qui caractériseront la formation lacustre; lorsque le lac, par les dépôts des eaux, aura été converti en terre ferme, les dépôts se partageront en deux groupes : les plus anciens comprenant les dépôts prenant naissance à la partie voisine des montagnes, où de nombreux deltas se formèrent d'abord, et les plus nouveaux consistant en couches déposées dans la partie la plus centrale du bassin, dans la partie la plus éloignée des montagnes. Les caractères suivans distingueront les dépôts de chaque série.

Les plus anciens seront formés, pour la plupart, de matériaux volumineux, de bancs de sable et de cailloux souvent fort épais, et quelquefois inclinés sous un angle considérable. Pour ces dépôts, ainsi que pour ceux de matières plus légères du même ordre, on trouverait, si l'on faisait le tour du bassin, qu'ils varient beaucoup en couleur, en composition minéralogique, et en épaisseur : les dépôts plus modernes, au contraire,

consisteront en matières très-fines, horizontales, peu inclinées; ils seront de couleur et de composition un peu homogène sur une grande étendue, et différeront de presque tous les dépôts anciens. Nous avons déjà examiné les causes de cette distribution, en parlant de ces sortes de dépôts.

Lorsqu'il y a plusieurs deltas indépendans, leurs dépôts isolés diffèrent entièrement les uns des autres. Nous pouvons supposer un des courans chargé, comme l'Arve lorsqu'il s'unit au Rhône, de sable blanc provenant principalement de la décomposition du granite; un autre noirci, comme beaucoup de courans d'eau du Tyrol, par des débris d'ardoises noires; un troisième coloré par un dépôt ocreux, comme la rivière Rouge en Louisiane; et un quatrième comme l'Elsa en Toscane, tenant en dissolution beaucoup de carbonate de chaux. Chacun de ces cours d'eaux ferait d'abord des dépôts distincts de ces matériaux grossiers; mais après leur union, il résulterait de nouvelles combinaisons et de nouvelles couleurs, et les dépôts transportés à dix ou vingt milles plus loin seraient formés de matières plus fines.

Dans les deltas où les causes sont plus compliquées, où il intervient des marées et des courans, la même théorie, modifiée, est toujours vraie; mais si, comme dans la région où l'Indus se jette dans la mer, des tremblemens de terre accompagnent la formation du delta et changent le niveau du sol, alors les phénomènes s'écartent beaucoup du type ordinaire.

M. Lyell passe ensuite à d'importantes considérations sur la convergence et la réunion des deltas. Si nous possédions, dit-il, une série de cartes exactes de la mer Adriatique remontant à quelques milliers d'années, nous remonterions sans doute à une époque où

le nombre des rivières se rendant directement à la mer par des deltas séparés, était beaucoup plus grand. Les deltas du Pô et de l'Adige, par exemple, seraient encore séparés après l'apparition de l'homme, et très-probablement aussi ceux de l'Izonzo et du Torre. Si, d'un autre côté, nous anticipons sur l'avenir, nous prévoirons l'époque où le nombre des deltas aura considérablement diminué; car le Pô ne peut continuer à accroître son delta d'un mille par siècle, et les autres rivières d'autant en cinq ou six siècles, sans que de nouvelles réunions n'aient lieu, de sorte que l'Eridan, le roi des fleuves, verra continuellement s'accroître le nombre de ses tributaires. Le Gange et le Burrampooter se sont probablement réunis depuis les temps historiques, et, selon toute apparence, on connaîtrait l'époque de la réunion du Mississipi et de la rivière Rouge, si la découverte de l'Amérique était plus ancienne. L'union du Tigre et de l'Euphrate a été sans doute un des phénomènes modernes du globe, et de semblables remarques s'étendraient à beaucoup de pays.

Formation des conglomérats. —Le long de la base des Alpes maritimes, entre Toulon et Gênes, les rivières, à peu d'exceptions près, forment maintenant des dépôts de conglomérats et de sables. Leurs lits ont souvent plusieurs milles de largeur, la plus grande partie est à sec, et le reste guéable pendant près de huit mois de l'année. Mais pendant la fonte des neiges elles se gonflent, et il se fait un grand transport de terre et de cailloux. Pour tenir ouverte la grande route de France en Italie, le long de la côte, il faut enlever tous les ans ce que les eaux y apportent pendant la saison des crues.

Dans quelques localités, comme auprès de Nice, les cailloux forment des bancs près du rivage, mais la plus grande partie est emportée à la mer. On ne s'étonnera pas du peu de progrès que font les deltas sur cette côte, en songeant que la mer présente quelquefois une profondeur de deux mille pieds (610 mètres), à quelques centaines de yards (le yard vaut 0^m 91) du rivage, comme auprès de Nice. On peut faire des observations analogues sur une grande échelle, sur les rivières de la Sicile, et, entre autres, sur celle qui, immédiatement au nord du pont de Messine, porte annuellement à la mer d'énormes masses de cailloux granitiques.

Lorsque les deltas de rivières ayant plusieurs embouchures se recontrent, une réunion partielle a d'abord lieu par une ou plusieurs de leurs branches; mais ce n'est qu'après la réunion des bras principaux au-dessus de l'origine du delta commun, qu'il y a un mélange complet de leurs eaux et de leurs dépôts. Ainsi l'union du Gange et du Burrampooter, du Pô et de l'Adige, est encore incomplète. Si nous songeons à l'étendue de la surface parcourue par des fleuves, tels que ceux du Bengale, et au mélange parfait de la plus grande partie des matières qu'ils transportent, à la grandeur du delta coupé par leurs bras nombreux, nous nous étonnerons moins de l'étendue de quelques anciennes formations de nature minérale homogène; mais notre surprise sera encore diminuée, lorsque nous songerons à l'effet des marées et des courans pour disséminer les matières accumulées dans les divers deltas.

Stratification des deltas.—On sait parfaitement que les matières charriées par les rivières dans les mers ou les lacs ne s'y déposent pas en masse confuse, mais

s'étendent au loin sur le fond. Leur division en bancs distincts peut être conclue par induction dans les cas où l'observation manque.

La disposition horizontale des dépôts observés quand on creuse à la profondeur de vingt ou trente pieds dans les deltas du Gange ou du Mississipi, a été citée par plusieurs écrivains, et l'on sait que la même disposition s'observe dans tous les dépôts modernes des lacs et des golfes. L'intervalle de temps qui sépare chaque année les dépôts pendant la saison des pluies ou la fonte des neiges, établit souvent des divisions naturelles; le dépôt de chaque année acquiert quelque solidité avant la superposition de celui de l'année suivante. Des circonstances diverses font aussi changer chaque année la couleur, la finesse et les autres caractères des matières déposées. Des causes nombreuses donnent lieu à des alternances de dépôts distincts en texture, en composition minéralogique et en débris organiques. Ainsi, par exemple, à une époque de l'année, des bois peuvent être transportés; à une autre époque, seulement des vases, comme dans le cas du Mississipi; ou bien, à une époque, lorsque le volume et la rapidité des eaux sont au plus haut point, des cailloux et du sable sont transportés, et couvrent une surface sur laquelle se déposent, lorsque les eaux sont basses, des matières plus fines ou des précipités chimiques. Pendant les crues, le courant d'eau douce repousse souvent la mer à plusieurs milles, et quand les eaux sont basses, la mer recouvre le même espace. Quand deux deltas convergent, l'espace intermédiaire est souvent, par les raisons déjà exposées, alternativement le réceptacle des dépôts des deux fleuves. L'un peut être chargé de calcaires, l'autre de matières argileuses; l'un transporte du sable et des cailloux, l'autre une vase impal-

pable. Ces différences peuvent se répéter avec beaucoup de régularité, de manière à accumuler des bancs alternans sur des centaines de pieds de hauteur. L'examen des dépôts de marne coquillière qui se forment aujourd'hui dans les lacs d'Ecossse, et les sédimens appelés *warp*, qui se forment par les eaux de l'Humber et autres rivières, montre que les dépôts récens sont souvent formés d'un grand nombre de lits très-minces, plans ou légèrement ondulés et parallèles à la surface de stratification. Quelquefois, cependant, les couches des dépôts modernes sont disposées sous un angle très-notable, ce qui paraît avoir lieu dans les points où il y a des mouvemens contraires dans les eaux.

CHAPITRE DIXIÈME.

DES DÉPOTS FORMÉS DANS L'INTÉRIEUR DU SOL.

PUISQU'IL existe des cours d'eau souterrains, il doit nécessairement se former des dépôts qui occupent aussi des cavités, et on doit le concevoir d'autant plus facilement, que les eaux peuvent non-seulement ronger les parois des cavernes dans lesquelles elles pénètrent, mais qu'elles doivent aussi y conduire une partie des matériaux qu'elles charrient et qu'elles ont arrachés à la surface.

Le dépôt des cavernes est encore facilité par leur structure intérieure. Il est rare que leur sol soit parfaitement plan, il est souvent formé de plusieurs chambres à niveau inégal, dont le fond forme autant de bassins séparés dans lesquels viennent se déposer tous les corps pesans qui sont amenés par l'eau. On a même beaucoup d'exemples de cours d'eau souterrains dans lesquels on a jeté en abondance des corps très-légers, comme des fragmens de bois, de la paille d'avoine et même des êtres vivans, tels que des canards, et qui n'ont jamais laissé échapper la moindre chose à l'issue de la caverne dans laquelle ils s'engouffraient. On sait, d'ailleurs, que des eaux troubles, qui entrent ainsi sous terre pour y parcourir un certain trajet, en ressortent en-

suite pures et limpides; et tous ces faits nous prouvent qu'il doit se former dans le fond de ces grottes des dépôts composés de toutes les matières qui y pénètrent.

Il y a cependant des cavernes dans lesquelles on n'a observé jusqu'ici aucune trace de sédiment; mais ce sont celles qui sont situées dans une position telle qu'à aucune époque les eaux n'ont pu les traverser.

La plupart des cavités souterraines présentent à leur surface inférieure un limon rougeâtre, quelquefois très-abondant, dans lequel on remarque assez souvent des cailloux roulés, de nature et de volume différens, des fragmens anguleux de la roche dans laquelle la caverne elle-même est creusée, et enfin des ossemens et des restes fossiles d'animaux très-divers et très-nombreux.

Ce dernier caractère a puissamment excité l'intérêt des géologues. Ils ont étudié avec le plus grand soin ces vieilles catacombes dans lesquelles ils ont souvent trouvé les restes d'animaux dont les générations sont éteintes.

Au-dessus de ces dépôts ossifères, on voit généralement des masses calcaires concrétionnées, que nous décrirons plus loin sous le nom de stalactites. Elles recouvrent les sédimens et ferment même quelquefois entièrement l'entrée des cavernes, en sorte qu'il faut d'abord les briser pour parvenir aux ossemens (*Fig.* XI).

Le limon est inégalement distribué sur le fond. Quelquefois il s'élève un peu contre les parois, et remplit, dans certaines circonstances, plus de la moitié de la cavité. Ces cavernes, comme celles qui ne contiennent aucun ossement et aucun dépôt, sont plus ou moins étendues et plus ou moins hautes. Celle de *Kirkdale*, une des plus célèbres, et qui a été étudiée d'une manière toute spéciale par M. Buckland, a 245 pieds de longueur, mais elle est si basse, qu'il n'y a que

deux ou trois endroits où un homme puisse se tenir debout. « Lorsque la grotte a été ouverte pour la première fois, dit M. Buckland, la surface du dépôt de sédiment était presque unie et horizontale, excepté dans les endroits où sa régularité avait été altérée par l'accumulation de stalagmites ou par la chute de gouttes d'eau de la voûte. Ce sédiment se compose d'un limon argileux micacé, formé de parties tellement ténues, qu'on pourrait facilement les mettre en suspension dans l'eau. Ce limon est mêlé de beaucoup de matière calcaire qui paraît provenir, en partie, de l'eau tombant de la voûte, et en partie, des os fracturés. A environ 100 pieds de l'entrée de la caverne, le dépôt de sédiment devient plus grossier et plus sableux (1). »

On connaît en Allemagne plusieurs de ces cavernes, telles que celle de Gailenreuth, de Küloch, de Baumann, qui contiennent une grande quantité d'ossemens fossiles. C'est dans ces grottes que l'on a trouvé une certaine quantité de cailloux roulés mêlés avec les débris.

MM. Tournal, Marcel de Serres et J. de Christol ont découvert aussi plusieurs cavernes à ossemens dans le midi de la France, et ont publié des travaux très-intéressans sur cet objet. Ces grottes offrent d'autant plus d'intérêt, que les géologues y ont trouvé des morceaux de poterie et des ossemens humains mélangés avec des débris d'espèces perdues. Celle de Lunel-Vieil a offert à M. Marcel de Serres un grand nombre de débris d'insectes, provenant des excrémens fossiles de divers animaux.

« .... Il semble donc, d'après ces faits, que les débris

---

(1) Buckland, *Reliquiæ diluvianæ.*

des animaux entassés pêle-mêle dans les cavernes de Lunel-Vieil, y ont été entraînés par les eaux, déjà réduits, avant leur transport, à l'état d'ossemens isolés. Cependant il est un fait qui, au premier aperçu, paraît contraire à cette conclusion ; c'est la présence des débris d'insectes que j'ai observée sur le sol de la grande caverne, débris dont je ne savais pas trop démêler l'origine, avant que M. de Christol y eût découvert un excrément qui en était en grande partie composé, ainsi que des vertèbres de poissons de petite taille. Autant que l'on peut en juger, ces débris d'insectes ont appartenu, soit à des carnassiers, soit à des herbivores, et probablement à des carabes, des géotrupes, des chrysomèles, des trichies, et peut-être des cétoines. Tous ces insectes conservent leur couleur et leur nature, et s'ils ont été dévorés par les animaux qui gisent dans la grande caverne, il faut nécessairement qu'ils soient de la même date que les premiers. Nous aurions donc là un exemple d'insectes fossiles conservant encore leur propre substance, comme ceux qui sont encroûtés par le succin (1). »

M. Thirria a décrit aussi plusieurs cavernes à ossemens, situées dans le département de la Haute-Saône. Celle d'Echenoz, près du village de ce nom, au sud de Vesoul, présente plusieurs chambres très-inégales, quoique le sol soit à peu près de niveau. Celle que l'on désigne sous le nom de *Grand-Clocher*, s'élève presque jusqu'au sommet du plateau, dont la partie solide n'a dans cet endroit qu'une faible épaisseur. M. Thirria fit fouiller le sol de la caverne en plusieurs endroits, et trouva partout un grand nombre d'ossemens, surtout dans la

---

(2) Marcel de Serres, Lettre à M. Gay-Lussac, *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, p. 220.

quatrième chambre. « La profondeur à laquelle ces débris se présentaient, variait de 10 centimètres à 1 mètre. On les rencontrait au milieu d'une argile rouge, entremêlés d'un grand nombre de cailloux arrondis, à surface lisse, et dont la grosseur atteignait souvent celle de la tête d'un homme. Ces fragmens étaient tous composés d'un calcaire lamellaire grisâtre, semblable à celui dont sont formés les parois de la grotte et beaucoup de roches des environs. Indépendamment de ces cailloux, on rencontre dans l'argile ossifère, des morceaux de stalactites et de stalagmites dont les aspérités sont usées, ce qui montre qu'ils ont été déplacés. Le dépôt d'argile, dont l'épaisseur ne paraît pas excéder 1 mètre 30 centimètres, est recouvert presque partout par une croûte de stalagmite épaisse de quelques centimètres, qui présente une surface mamelonnée; au-dessus se trouve une couche de 10 à 25 centimètres d'épaisseur, composée d'une argile plus onctueuse, mais par suite moins rouge que celle qui est en dessous, et qui est fréquemment noircie par suite de la décomposition de végétaux dont elle contient encore quelques débris. On ne trouve pas de cailloux arrondis au-dessus de la croûte de stalagmites, et on n'en voit à la surface, que là où la stalagmite n'existe pas. D'après cela, il paraît évident que les cailloux arrondis que renferme l'argile ossifère ont été transportés par les eaux et déposés dans la grotte avant la formation de la croûte calcaire produite par les gouttes d'eau chargée de carbonate de chaux, qui ont suinté de la voûte, et conséquemment avant le dépôt de la couche d'argile dont cette croûte est recouverte (1). »

---

(1) Thirria, *Mém. de la Société d'hist. nat. de Strasbourg*, t. I.

Quelquefois les marnes et le limon forment plusieurs couches très-distinctes et séparées par des dépôts de stalagmites, comme cela a lieu dans la caverne de Chockier, près Liége, sur le bord de la Meuse. Cette grotte est presque entièrement remplie par ces différens dépôts.

On connaît maintenant de semblables dépôts dans presque toutes les contrées où il existe des cavernes; on en a même découvert dans la Nouvelle-Hollande.

Ces mêmes débris que l'on rencontre dans les cavernes, se retrouvent aussi dans des fentes de roches, qui ont été remplies de la même manière, et qui contiennent aussi une matière calcaire qui a formé une sorte de brèche de tous ces débris. On désigne ces dépôts sous le nom de *brèches osseuses*. Il est vrai que ces brèches sont souvent déposées aussi dans des cavernes, comme celle de Cagliari en Sardaigne; il paraîtrait même que celles de Nice étaient primitivement contenues dans une grotte qui a été ouverte pour l'extraction de pierres de construction.

On trouve un grand nombre de ces brèches sur les bords de la Méditerranée. On en connaît à Cette, à Antibes, à Gibraltar, en Sicile, en Corse, etc. Ce sont de véritables fentes remplies.

Les animaux dont les débris se trouvent ainsi enterrés dans les cavernes, appartiennent à un grand nombre d'espèces. Voici la liste de ceux qui ont été trouvés dans les cavernes du midi de la France :

Tableau des animaux trouvés dans les cavernes du midi de la France.

Éléphant.
Rhinocéros.
Sanglier.
Cheval.
Bœuf, deux espèces.
Cerf, cinq espèces.

Antilope d'une très-grande taille.
Chamois.
Chèvre.
Mouton.
Ours, deux espèces au moins.
Blaireau.
Tigre.
Lion.
Léopard.
Lynx.
Hyène fossile.
Hyène rayée (Christol).
Hyène brune (Christol).
Chien, deux espèces.
Loup.
Renard.
Putois (Christol).
Fouine (Christol).
Lièvre.
Lapin.
Lagomis.
Campagnol.
Plusieurs espèces d'oiseaux.
Tortue terrestre.
Lézard (*Lacerta ocellata*).
Couleuvre de la taille de la *Coluber natrix* (1).

Il faut remarquer qu'avec ces ossemens se trouvaient ceux de l'homme dont on a cru reconnaître plusieurs variétés, ainsi que des débris de poterie.

Indépendamment de plusieurs des espèces mentionnées dans ce tableau, M. Buckland a trouvé dans la caverne de Kirkdale, l'*hippopotame*, la *belette*, le *rat d'eau*, la *souris*, le *corbeau*, le *pigeon*, l'*alouette*, une *petite espèce de canard* et un *oiseau de la grosseur d'une grive* : le *glouton* a été trouvé dans les grottes de l'Allemagne.

Selon M. Pentland, les os de la brèche d'Australie, apportés à Paris, et examinés par Cuvier et par lui-même, appartiennent à huit espèces d'animaux, qui se rapportent aux genres suivans : *Dasyurus* ou *thylacinus*; *hypsiprymnus* ou *kanguroo-rat*, une espèce; *phascolomys*, une espèce; *kanguroo*, deux ou trois espèces; *halmaturus*, deux espèces; et *éléphant*, une

(1) Tournal, *Annales de chimie et de physique*, février 1833, p. 180.

espèce. D'autres ossemens trouvés dans une espèce de caverne dans la même contrée, ont offert des débris des genres *wombat*, *koala* et *phalangista*. Parmi ces différens animaux, quatre seulement sont inconnus aux naturalistes; ce sont deux espèces d'*halmaturus*; une espèce de *hypsiprymnus* et l'*éléphant*. Il faut encore ajouter qu'une autre collection de la vallée de Wellington contient les débris d'une espèce de *kanguroo*, dont la grandeur surpasse d'un tiers celle des plus grandes espèces de ce genre que l'on connaisse aujourd'hui (1). Toutes les autres espèces sont actuellement vivantes dans la Nouvelle-Hollande. Il arrive donc pour cette grande île ce qui a lieu sur nos continens, où les débris d'espèces actuellement vivantes sont mélangés à ceux d'espèces perdues.

Il est rare que les ossemens des cavernes et des brèches soient bien entiers; ils sont le plus souvent fracturés et usés comme s'ils avaient été roulés et charriés pendant long-temps. Ils portent dans quelques circonstances l'empreinte de la dent, et sont brisés comme si de fortes mâchoires les eussent rompus.

D'après la liste que nous venons de donner, on a pu voir qu'il existait dans ce dépôt le plus singulier mélange d'ossemens appartenant aux carnivores et aux herbivores; mais ce qu'une liste ne peut offrir, c'est la quantité relative de chaque espèce, et le plus ou moins de fréquence de chacune d'elles. Or, M. Brongniart a fait la remarque curieuse que les neuf douzièmes de ces dépôts appartiennent à des *ours*, deux autres douzièmes à des *hyènes*, et un douzième seulement aux autres animaux. L'abondance des ossemens d'hyènes,

---

(1) De Labèche, *Manuel de Géologie*, p. 241.

jointe à l'énorme quantité de leurs excrémens que l'on rencontre dans quelques cavernes, a fait supposer avec assez de vraisemblance que ces animaux habitaient autrefois ces cavernes où ils se réfugiaient, et où ils entraînaient les animaux herbivores qu'ils dévoraient. On sait en effet que les carnivores emportent leur proie et vont la dévorer dans leur retraite. C'est ainsi qu'agissaient les hyènes qui dépéçaient des cadavres d'éléphans et de rhinocéros, et emportaient les débris dans leurs charniers. Si l'on ajoute à cela que plusieurs os montrent encore l'empreinte de leurs dents, que d'autres semblent polis et usés d'un côté, ce que M. Buckland attribue au frottement des hyènes, qui marchaient ou se roulaient sur les ossemens déposés dans le fond des cavernes, on sera tenté d'admettre cette théorie. Reste cependant la difficulté d'expliquer le mélange des ossemens d'hyène avec ceux de leurs victimes. M. Buckland pense qu'elles ont été saisies par l'irruption subite d'une masse d'eau boueuse qui a tout enveloppé dans son limon. On peut encore objecter que les squelettes des hyènes devraient être entiers, ce qui n'est pas; ou bien, si l'on fait attention que les animaux, sur le point de périr, cherchent les lieux isolés pour y mourir en paix, et cachent leurs cadavres par une sorte d'instinct, on se demande encore comment des animaux d'espèces si diférentes se sont rencontrés par hasard dans le même lieu, et pourquoi encore leurs squelettes ont été dépécés au point que des os, qui se touchent dans l'animal, se trouvent à de grandes distances dans le limon, ou n'y existent pas du tout. Il faut cependant supposer que des grottes dans lesquelles on rencontre des amas de 100 mètres cubes d'ossemens d'ours seulement, ont été le lieu de retraite de ces animaux si communs lors de ce genre de dépôt. Cela est d'autant plus probable que les

ours actuels se retirent dans des cavernes, et M. Buckland a remarqué en Angleterre même des couloirs très-étroits usés et polis par le frottement occasionné par le passage continuel de ces animaux.

Le docteur Malcolsom a fait en Asie, près d'Hydrabad, des observations qui viennent tout-à-fait à l'appui de celles du docteur Buckland.

« Plusieurs faits intéressans se sont présentés à moi » dans une promenade que je fis dernièrement à une » masse considérable de rochers de granite, séparés » par des fentes profondes où se réfugient les hyènes » et les *chittas*. A partir du pied d'une montagne peu » élevée, ces fentes s'étendent à des profondeurs im» menses. M'étant avancé dans une d'entre elles, je » fus surpris de voir des quartiers de rocher couverts » de stalagmite formée par l'eau qui coule des côtés » de la fente à 40 pieds au-dessus, et plus encore de » trouver que les côtés du passage étroit par où nous » étions entrés avaient un poli très-fin. Mon compa» gnon l'attribua au passage des animaux, et de mon » côté j'avais la même idée. En examinant d'autres en» droits, nous ne rencontrâmes cette singularité que » là où les animaux devaient nécessairement passer; » et quand les angles s'avançaient en pointe vers le » sentier, ces angles seuls avaient le poli. La caverne » était basse, et dans les enfoncemens où je parvins » en rampant, se trouvaient une quantité d'ossemens » épars : on y voyait distinctement les traces du pas» sage récent des animaux qui s'y réfugiaient. Les os y » étaient pour la plupart brisés, et les excrémens des » hyènes contenaient de grands fragmens de côtes et » autres ossemens en entier, etc. En examinant de » plus près, je fus frappé du grand nombre de têtes » de rats, et d'ossemens placés, par petits tas, évi-

» demment hors de la portée des hyènes, et souvent » même, en des points tout-à-fait isolés, au-dessous » des fentes entr'ouvertes par le haut, les excrémens » des éperviers indiquaient à ne s'y pas méprendre que » ces os étaient les restes de leurs repas. Une plume » de vautour que nous trouvâmes parmi les ossemens » ne nous laissa plus de doute à cet égard. Quelques-» uns de ces os tenaient encore à la peau de l'animal » et venaient d'être déchiquetés. Ce qu'il y a de sin-» gulier, c'est que la mâchoire supérieure et la mâ-» choire inférieure n'étaient point séparées, mais la » chair en avait été nettement détachée pendant la di-» gestion. D'autres os étaient entiers, mais disloqués. » Les plus grands crânes étaient brisés par derrière. » Dans un tas que je mis à part, se trouvaient les crâ-» nes et les ossemens de rats de trois espèces, d'écu-» reuils, de chauve-souris et d'autres oiseaux. Si cette » caverne eût eu une autre constitution, nous y au-» rions trouvé des fossiles. Il serait intéressant de pou-» voir confirmer la supposition de Buckland sur les blocs » polis dans les souterrains. L'étude des mœurs des ani-» maux pourra surtout éclaircir cette supposition (1). »

Que l'on admette maintenant dans cette caverne la présence de l'eau charriant un limon rougeâtre, et entraînant des cailloux roulés quelquefois volumineux, on concevra très-facilement la création d'un dépôt ossifère analogue à ceux que nous connaissons.

Ce n'est pas cependant en servant de retraite à des animaux, que la plupart des cavernes ont été remplies d'ossemens; les faits que nous venons de rapporter plus

(1) *Asiatic Journal.* (Communication faite à la Société asiat. de Calcutta.)

haut sont plutôt des exceptions que la règle ; il suffit, pour le prouver, de dire que l'on a souvent trouvé des cavernes dont l'ouverture était si étroite que les animaux dont elles recèlent les débris n'auraient pu y pénétrer, ni ceux qui auraient eu la force d'y entraîner leur corps dépécé. D'ailleurs, l'état usé du plus grand nombre d'ossemens, la présence de fragmens de poteries et de fossiles humains sont autant de causes qui s'opposent à ce qu'on admette comme générales les explications que nous venons de donner. C'est à des cours d'eau souterrains qu'il faut attribuer les nombreux dépôts de ce genre qui existent partout. M. Marcel de Serres a parfaitement résumé les motifs qui autorisent cette opinion, dans une lettre écrite à M. Gay-Lussac (1), et dont nous citons le passage suivant :

« La manière dont ces ossemens sont disposés annonce, ce me semble, qu'ils y sont arrivés séparés des animaux auxquels ils avaient appartenu, et réduits à l'état d'ossemens isolés. Aussi les y voit-on dispersés sur la plus grande partie du sol de la caverne, mélangés sans aucune espèce d'ordre, montrant parfois des indices d'un transport plus ou moins violent, et usés comme s'ils avaient été roulés, jamais réunis par familles, ni rapprochés en raison des habitudes des animaux qu'ils rappellent. Les carnassiers n'y sont pas plus nombreux que les herbivores, ni diversement situés. Les os des derniers ne montrent aucun indice qui puisse faire supposer qu'ils y ont été entraînés par les premiers, qui en auraient fait leur pâture ; ils ne présentent pas non plus, comme les os des herbivores découverts par M. Buckland en Angleterre, les marques des

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, p. 216.

dents des carnassiers, ni rien qui indique qu'ils ont été rongés.

» D'ailleurs, comment les animaux que nous avons déjà signalés auraient-ils pu pénétrer vivans et entiers dans la caverne de Lunel-Vieil, puisque l'on n'y connaît aucune issue naturelle assez large pour que des lions, des tigres, des hyènes, et autres grands carnassiers qui s'y trouvent, aient pu y entraîner des bœufs, des chameaux, des cerfs, et enfin tous les grands herbivores que nous y avons signalés, pour les dévorer à leur aise ? La difficulté serait toujours la même, en supposant qu'ils y fussent venus naturellement. D'ailleurs, si les herbivores avaient servi de pâture aux carnassiers, les uns et les autres n'y seraient pas entassés sans ordre, ni dispersés pêle-mêle; on les verrait au contraire réunis par familles, et disposés par lits successifs; les ossemens des carnassiers seraient plus entiers que ceux des herbivores, et par la position diverse des uns et des autres dans le limon, on reconnaîtrait que les premiers y sont morts naturellement, et que les seconds y ont été entraînés pour être dévorés; mais comme ils sont tous dans la même position, il est naturel d'en conclure qu'ils y ont été entraînés par une même cause.

» Cette cause paraît avoir été générale dans nos contrées méridionales, et avoir agi sur une multitude de points, en entraînant, soit dans des fentes, soit dans des cavités, une quantité plus ou moins considérable d'ossemens de quadrupèdes carnassiers et herbivores avec un petit nombre d'oiseaux.

» Cette cause a été probablement un cours d'eau, à en juger du moins par la nature du limon qui renferme les os, les cailloux roulés qui y sont mélangés, les sables et les graviers qui encombrent la partie sud

de la caverne elle-même. En effet, sa partie inférieure, surtout vers le sud, montre un assez grand nombre de sillons longitudinaux, légèrement flexueux, comme produits par le balottement des eaux, tandis que les points saillans, arrondis, présentent un poli plus ou moins parfait, dû quelquefois à un léger glacis calcaire. »

Le mode d'introduction des dépôts des cavernes par les ouvertures latérales ou supérieures, explique parfaitement les caractères et les anomalies que nous offrent ces débris. Nous pouvons de cette manière concevoir la dispersion d'ossemens primitivement réunis, expliquer la présence des cailloux roulés et du limon, l'enfouissement plus ou moins grand des os, l'épaisseur variable des dépôts. Nous nous rendons compte bien facilement de ces couches superposées de stalactites qui, dans certaines cavernes, partagent les dépôts en plusieurs assises. Il suffit d'admettre de grandes crues qui, à certaines époques, sont venues recouvrir de nouveaux débris, une croûte que des infiltrations calcaires avaient formée quand l'eau avait cessé d'y couler. Ce ne sont pas des causes brusques et passagères, comme des déluges ou des cataclysmes, qui ont opéré ce dépôt, c'est le passage continu des eaux par les mêmes canaux.

De nos jours, nous voyons de semblables dépôts se faire dans les cavernes et dans les fentes des rochers.

M. Rouland, dans la séance de la Société de Géologie du 16 mai 1831, a cité l'exemple des grottes de Rancogne, à six kilomètres de la Rochefoucault et sur la rive droite de la Tardoire, où se forment habituellement des dépôts de limon et d'ossemens d'animaux de l'époque actuelle, et où quelques-uns de ces dépôts commencent à se recouvrir d'une couche stalagmitique,

lorsque les effets du suintement pierreux des voûtes calcaires n'ont pas été dérangés par un retour trop prompt des inondations limoneuses de la rivière (1).

M. Tournal a vu dans les rochers de la Clape, près de Narbonne, une brèche osseuse formée par les débris d'un mouton tombé depuis moins de vingt ans dans une de ces crevasses. Ces ossemens étaient déjà rendus adhérens à la pierre par le limon rouge et l'exsudation calcaire. MM. Boblaye et Virlet ont vu former ce limon dans les bassins fermés de la Grèce, ils l'ont vu pénétrer dans les fentes ou *chasma*, qui se prolongent en longues et immenses cavernes; enfin, entre la saison des pluies, ils ont vu ces mêmes cavernes habitées par les renards et les chacals, qui, non-seulement y entraînaient leur proie, mais qui ont pu, dans plusieurs circonstances, être surpris eux-mêmes par une crue subite et être entraînés avec les autres débris, en sorte que les circonstances qui, isolément, peuvent produire des dépôts ossifères, se trouvaient réunies. Or, puisque l'on rencontre dans les cavernes des ossemens d'animaux encore existans et d'autres dont les espèces sont perdues, il est naturel de supposer que la formation de ces alluvions souterraines a commencé à une époque bien antérieure à la nôtre et se continue tous les jours sous nos yeux. Il est bien probable que si la fontaine de Vaucluse venait à tarir, si d'autres sources aussi abondantes situées dans le Jura venaient à se dessécher, on trouverait dans les cavernes sinueuses où elles coulent depuis si long-temps, de nombreux débris appartenant à des époques distinctes. Alors seulement, les stalactites n'étant plus dissoutes par les eaux, descendraient sur le limon et offriraient

(2) Reboul, *de la Période quaternaire*, p. 86.

bientôt tous les carractères des cavernes à ossemens.

Il n'y a donc rien d'étonnant que l'on trouve dans des grottes semblables qui sont le lit d'anciens cours d'eau souterrains, des ossemens d'éléphant, de rhinocéros et même d'espèces entièrement perdues, avec des ossemens humains et des débris de poterie. Leur disposition doit seule donner quelques indices sur leur date relative. Encore peut-il se faire qu'après le dépôt de ces débris divers, une crue subite, produite par des causes qui peuvent être très-différentes, soit venue mélanger et confondre des ossemens dont la stratification eût indiqué les différences d'âge. Peut-être aussi l'homme était-il contemporain de ces animaux.

Il est remarquable que le limon qui contient les ossemens est presque toujours le même. Il est évidemment le produit de la décomposition des calcaires, qui tous contiennent plus ou moins d'oxide de fer. Ce dernier, exposé à l'air, passe à l'état de péroxide rouge, se délaie et se laisse entraîner pour se déposer ensuite. Les brèches ont bien aussi un ciment calcaire, mais qui paraît le résultat d'une action chimique, tandis que le limon est déposé mécaniquement. On voit donc par ce qui précède, qu'ici, comme dans beaucoup d'autres circonstances, les causes qui ont donné naissance aux dépôts ossifères souterrains ne sont pas les mêmes;

Qu'en général ces causes ont été lentes et progressives, et que, dans quelques cas seulement, des crues subites ont pu saisir des animaux vivans ou déposer leurs cadavres;

Que les eaux ont charrié avec le limon les ossemens qui s'y trouvent ensevelis, et que ce transport a lieu depuis très-long-temps, puisqu'il s'effectue encore de nos jours, et qu'il a transporté autrefois des espèces qui n'existent plus maintenant.

La variété des espèces et leur rapprochement, ainsi que leur fréquence dans chaque localité, indiquent que ce sont généralement des circonstances locales qui ont le plus d'influence sur les dépôts d'ossemens, de sorte que l'on peut y rencontrer aussi des corps très-variés, tels que des coquilles d'eau douce, ou même des coquilles marines, comme on l'a déjà observé dans plusieurs brèches.

C'est à un phénomène tout-à-fait analogue à celui des brèches osseuses qu'il faut rapporter les fentes remplies que l'on a long-temps considérées comme des filons, et dont Werner s'était servi pour établir sa théorie. On doit d'autant mieux les comparer aux brèches osseuses, que souvent elles contiennent effectivement des ossemens, surtout quand elles sont remplies de minerais de fer en grains. Ces grains sont accompagnés d'une argile ocreuse rougeâtre qui les enchâsse et qui a du rapport avec le limon des cavernes. On y trouve les débris de l'*ursus spœleus*, si abondant dans les grottes ossifères, quelquefois le *rhinocéros*, *le cerf*, le *cheval*, le *mastodonte*, etc. Aussi M. Brongniart considère ces dépôts comme tout-à-fait contemporains des brèches osseuses (1).

D'autres gîtes, sans appartenir à la même époque, ont été évidemment remplis par en haut.

Un des plus remarquables, sans contredit, serait le Pulzenwerk de Joachimsthal en Bohême; il consiste en une grande masse cunéiforme de wake, intercalée dans le phyllade, dont il coupe les strates en même temps qu'il traverse plusieurs filons, sans en changer la di-

---

(1) Alex. Brongniart, *Annales des Sciences natur.*, août 1828 et janvier 1829.

rection ; il atteint une profondeur de plus de 400 mètres, et sa largeur, qui, à la surface du terrain, excédait 100 mètres, ne se trouve plus que de 20 mètres à 300 mètres plus bas. Il renferme des pierres de diverses espèces et des débris d'êtres organisés, parmi lesquels on trouve des arbres entiers avec leurs branches et leurs feuilles à demi bituminisées, que les habitans du pays appellent bois du déluge, comme s'ils y eussent été portés et enfouis par le déluge universel (1).

Le gîte de Maria Loretta en Transylvanie, près de Fatzeberg, est encore fort curieux. Il consiste, selon de Born, en une fente cunéiforme remplie de grès en couches horizontales, et contenant une quantité d'or assez considérable pour être l'objet d'une exploitation importante. La présence de l'or dans cette crevasse serait difficile à expliquer, si l'on ne se rappelait que presque toutes les plaines de la Transylvanie et du Bannat contiennent des particules de ce métal.

On trouve aussi dans les mines de charbon un grand nombre de fentes que l'on désigne sous le nom de failles, et qui sont remplies, seulement par éboulement, des fragmens de couches environnantes, et d'autres dans le remplissage desquelles le charriage des eaux entre pour quelque chose.

On conçoit, en effet, que le transport des détritus dans des fentes ou dans des cavernes ait eu lieu depuis très-long-temps, et nous n'insisterons pas davantage sur des faits aussi faciles à saisir.

---

(1) Fournet, *Études sur les dépôts métallifères*, p. 70.

CHAPITRE ONZIÈME.

DE LA FORCE CRÉATRICE DES EAUX DE LA MER.

Si les eaux qui sont rassemblées dans les bassins de l'Océan étaient immobiles, elles n'auraient aucune action sur les côtes, et celles-ci resteraient sensiblement les mêmes, sans que leurs contours fussent altérés. On sait qu'il n'en est pas ainsi, puisque la mer est assujettie perpétuellement à trois mouvemens distincts qui peuvent se combiner ou agir isolément. Nous allons donc examiner successivement chacune de ces espèces de mouvemens, c'est-à-dire les *marées*, l'*action des vagues* et celle des *courans*.

ACTION DES MARÉES.

Il semblerait, au premier abord, que l'impulsion imprimée régulièrement aux eaux par l'attraction planétaire dût produire sur les côtes des effets d'érosion ou de transport en rapport avec la durée de cette force; mais c'est à peine si on aperçoit leur action. Dans les temps calmes, les lames qui résultent du flux et du reflux étant toutes douées d'un mouvement régulier, avancent sur la plage sans en soulever les galets, quelquefois même sans déranger les particules de sable sur lesquelles elles glissent pendant long-temps. Si les

rivages sont escarpés, les lames les attaquent, mais le petit effet qu'elles produisent se perd dans le résultat de l'action des vagues quand un vent violent les anime. Les marées n'ont donc qu'une action infiniment petite, lors même qu'elles s'élèvent beaucoup et qu'elles acquièrent leur plus grande force. Elles n'ont guère d'influence qu'aux embouchures des fleuves dont elles doivent nécessairement modifier les deltas. Il ne s'ensuit pas que le mouvement régulier des eaux marines n'ait jamais eu d'action sur les côtes; mais comme ces mouvemens sont les mêmes depuis des siècles, il en résulte que depuis long-temps aussi les effets doivent avoir été produits. Cependant, tous les jours il se forme dans la mer de nouveaux bancs, qui sont déposés par les vagues ou par le transport des fleuves, et les marées peuvent agir sur ces créations nouvelles, comme elles ont agi autrefois dans la disposition des côtes et le dépôt des sables qui leur sont adossés. Leur vîtesse, d'ailleurs, qui est peu considérable quand aucun obstacle ne se présente, peut augmenter de beaucoup, si les flots sont emprisonnés dans un détroit ou brusquement détournés par quelque obstacle. L'eau qui, dans d'autres cas, pouvait à peine enlever du sable, peut alors soulever des galets, les frapper les uns contre les autres, les lancer sur la plage ou s'en servir pour battre en brèche des falaises calcaires qui cèdent bientôt à leur choc réitéré.

Les marées ont cependant pour résultat d'élever et d'abaisser périodiquement la surface de l'eau, au lieu de lui assigner une hauteur moyenne pour limite. Il en résulte que les effets produits par les vents, qui sont bien plus considérables que ceux du flux et du reflux, s'étendent sur une plus grande échelle, puisque le niveau des vagues actives est élevé ou abaissé par la

marée. Ainsi, une vague qui ne viendra battre en brèche qu'à la hauteur de 6 pieds, pourra atteindre, pendant le flux, une élévation de 25 pieds, et agir par conséquent sur une plus grande surface. Il faut donc considérer l'attraction planétaire comme dégradant très-peu nos continens, malgré le frottement continuel que les vagues font éprouver aux rivages.

Nous ne savons pas si le mouvement du flux et du reflux a lieu avec la même vîtesse jusqu'aux profondeurs de l'Océan, et nous ignorons, dans ce cas, si l'énorme pression de l'eau tend à dégrader le fond des mers et à en enlever les matériaux pour les transporter ailleurs; on présume pourtant que cet effet n'a pas lieu, parce qu'en pleine mer les eaux sont parfaitement limpides et ne contiennent pas de matières terreuses en suspension.

ACTION DES VAGUES.

Il faut distinguer les vagues que le vent soulève des lames et des ondulations que la marée amène, et dont l'élévation et l'étendue ne varient, en temps calme, que d'une hauteur presque déterminée d'avance par la connaissance de la situation de la lune et du soleil.

Les vagues doivent aux vents leur origine; elles s'élèvent, s'abaissent, s'avancent ou se retirent, selon l'intensité des courans d'air, suivant leur durée et leur direction. Elles s'élèvent quelquefois très-haut dans les gros temps; elles soulèvent les sables et les cailloux, et l'eau qui n'est pas trop éloignée des côtes est chargée de débris soulevés du fond de la mer. Les vents dominans donnent une certaine puissance aux vagues, qui se dirigeant toujours du même côté, finissent par entamer

le sol, ou par y déposer de puissantes couches de sable ou de galets.

Il est assez singulier que, sur certains points, les vagues puissent déposer des matériaux, tandis qu'elles en enlèvent sur d'autres qui sont situés sur la même ligne. C'est cependant ce qui arrive fréquemment même sur nos côtes de France, qui se dégradent sur quelques parties de la Normandie, et qui se couvrent de sables dans le département des Landes. Ce singulier résultat tient en grande partie à l'escarpement plus ou moins grand des rivages et à la nature des roches qui les composent. Si la mer est bornée par une falaise escarpée, comme cela a lieu sur plusieurs points de la Normandie, et surtout dans les îles Sethland (*fig.* XII et XIII), les vagues viennent frapper continuellement contre ces rochers et les dégradent insensiblement. Les parties les plus tendres sont les premières emportées; les plus dures résistent, et il résulte souvent de ces érosions partielles des roches aux formes les plus bizarres. Les unes sont droites et presque carrées, d'autres sont arrondies comme de grandes colonnes. Quelques-unes, sapées par le bas, se présentent renflées par en haut, et offrent une grossière ressemblance avec certains champignons; d'autres sont percées d'outre en outre; on en voit qui ayant perdu leur équilibre, à cause des érosions inférieures, sont tombées les unes sur les autres et forment comme des ruines que l'eau achève d'entraîner. Lorsque les falaises sont composées de plusieurs couches de roches dont la dureté est différente, les plus tendres sont bientôt détruites, et il se forme des cavernes que l'eau agrandit toujours. L'air chassé dans ces grottes y rend quelquefois des sons particuliers analogues à ceux que l'on entend dans la grotte de Fingal. Les parties dures du rocher

restent au contraire en saillies du côté de la mer, jusqu'à ce qu'elles tombent par morceaux, qui s'amoncellent au bas de l'escarpement. Ces débris peuvent former une sorte de digue naturelle qui défend alors la falaise qui vient d'être entamée; mais le plus souvent la vague les entraîne, les frotte les uns contre les autres, les roule et les arrondit, et vient frapper avec eux les assises qui jusque-là avaient résisté. On voit même quelques falaises qui, attaquées par l'eau, y versent d'immenses quantités de cailloux siliceux, en partie arrondis, qui se trouvaient enchâssés entre leurs couches. La mer, en attaquant aussi les rivages, a dû quelquefois creuser des baies profondes, ou du moins découper avec plus ou moins d'intensité et de variété la ligne sur laquelle ses eaux viennent se joindre à la terre.

Il arrive aussi qu'après avoir dégradé un rivage, la mer y accumule une si grande quantité de galets qu'elle se forme à elle-même une digue qu'elle ne peut plus dépasser. On a plusieurs exemples de ce genre sur les rivages d'Angleterre. M. de Labèche, en cite un fort curieux sur la côte méridionale du Devonshire :

« Au fond de la baie de Start, et sur la longueur d'environ 5 à 6 milles, on voit un banc considérable composé principalement de petits galets de quartz, qui a été formé par les flots de la mer. La ligne de côte fait face à l'est. Entre Tor Cross et Beeson Cellar, se trouve une pointe de terre soumise à l'action des brisants; mais là comme ailleurs, en deçà du banc, le terrain a évidemment gagné sur la mer, ou, en d'autres termes, la mer s'est élevée à elle-même une barrière qui l'empêche d'atteindre l'escarpement, même pendant les plus fortes tempêtes, comme elle l'a fait autrefois.

» Ce banc, généralement connu sous le nom de *Slapton Sands*, quoique composé en totalité de petits

galets, garantit et bloque, pour ainsi dire, les embouchures de cinq vallées. Au milieu du *Slapton Sands*, il y a un lac d'eau douce, divisé en deux parties : au pont de Slapton, où les eaux de la partie nord s'écoulent dans la partie sud, la partie nord est presque entièrement remplie de détritus boueux, apportés par une rivière qui reçoit les eaux d'un pays de quelques milles d'étendue, et elle est presque toute couverte de joncs et autres plantes aquatiques. La partie sud, qui est la plus considérable, est tout-à-fait découverte et a plusieurs acres d'étendue; les eaux sont fournies par des ruisseaux qui viennent des cantons situés en arrière, et filtrent ordinairement à travers les galets pour arriver à la mer. Cependant, aux époques des hautes marées, ou lorsque les flots sont soulevés par des tempêtes, il arrive quelquefois, par suite du changement dans les niveaux relatifs, que l'eau de la mer passe à travers les galets et pénètre dans le lac, dont elle rend alors les eaux saumâtres jusqu'à une certaine distance. C'est ordinairement pendant l'hiver que cela arrive; mais, généralement parlant, les niveaux relatifs sont tels que les eaux du lac versent leur surplus dans la mer, et restent complètement douces. Il contient une grande quantité de truites, de perches, de brochets, de rougets et de carrelets. La présence de ce dernier poisson, qu'on pêche ordinairement dans la mer ou dans les embouchures de rivières, montre qu'il peut s'accoutumer peu à peu à vivre dans l'eau douce. La filtration de l'eau de mer à travers les galets, durant la tempête, ne paraît pas nuire aux poissons d'eau douce; néanmoins, lors de la violente tempête de novembre 1824, il se forma une brèche à travers ce banc, par laquelle la mer fit une irruption soudaine qui fit périr presque tous les poissons; mais le petit

nombre qui échappa suffit pour qu'au bout de cinq ans le lac fût abondamment repeuplé.

» La rupture faite au banc de *Slapton Sands* resta ouverte pendant à peu près un an, mais en devenant graduellement plus petite. On trouva moyen de hâter son entière réparation en jetant l'un sur l'autre, dans la brèche, quelques sacs remplis de cailloux, sur lesquels deux ou trois grosses mers eurent bientôt reformé un banc solide (1). »

Cet exemple, ainsi que plusieurs autres que nous pourrions citer, prouve que les vagues peuvent former des plages de galets très-étendues, et il suffit d'ailleurs de se promener sur la plupart des rivages pour se convaincre de cette vérité. On voit même que ces plages s'étendent plus loin que la portée des vagues, car non-seulement elles amènent des cailloux roulés jusques aux limites où elles peuvent parvenir, mais dans les grandes tempêtes, leur force impulsive est telle, que les cailloux projetés conservent même assez de force pour pousser ceux qui sont devant eux et les faire avancer. On voit dans ces circonstances des vagues soulever d'énormes fragmens de rocher, et les briser les uns contre les autres.

Pendant la tempête de novembre 1824, qui ravagea une partie de la côte méridionale de l'Angleterre, un bloc rectangulaire du poids de un et demi à deux tonneaux, fut violemment arraché d'une jetée à *Lime-regis*, et rejeté au-dessus par la force d'un brisant. M. Harris a assuré à M. de Labèche, que pendant cette même terrible tempête, et au commencement de 1829, des blocs de calcaire et de granite du poids de

---

(1) *Manuel de Géologie*, p. 91.

2 à 5 tonneaux, furent lancés sur la jetée de Plymouth comme de simples cailloux. Un bloc de calcaire du poids de 7 tonneaux, fut enlevé à l'extrêmité ouest de la jetée, et charrié à 150 pieds de distance. A la jetée de la baie de Bovey-Sands, à l'entrée de la rade de Plymouth, on voit une masse de maçonnerie qui a été transportée en arrière d'environ dix pieds, et qui au moment où elle fut atteinte par la vague, était à 16 pieds au-dessus du niveau des grandes marées de 18 pieds. Cette masse de construction pèse environ 7 tonneaux, et est formée d'un petit nombre de pierres de taille calcaires cimentées ensemble, et recouvertes d'un énorme bloc de granite ; ces pierres étaient réunies entr'elles à queue d'aronde, et la masse formait une partie d'un parapet, qui faisait face à la mer (1).

Outre les cailloux de toute grosseur, les vagues amènent souvent sur le rivage des sables qui s'y dispersent en nappes étendues, ou que le vent rassemble en collines mouvantes. Ces sables proviennent évidemment du frottement des roches et du transport du terrain que les fleuves conduisent dans la mer. Il s'y mélange souvent des débris de coquillages, et quelquefois des cimens calcaires les empâtent et en forment des grès ou des roches solides, comme celles qui se reproduisent journellement sur la côte de Messine, et comme celle qui contient les squelettes humains de la Guadeloupe. Le plus souvent ces sables restent désunis. Ceux qui sont déposés par le reflux sur une côte presqu'aplatie, ont le temps de sécher avant le retour d'une seconde marée, pour peu que les vents qui y règnent soient aidés par les rayons du soleil. Ceux qui viennent ensuite s'y

---

(1) De Labèche, *Manuel de Géologie*, p. 94.

déposer se dessèchent bientôt, et le vent les emmène avec une vîtese plus ou moins grande, comme nous l'avons déjà vu en nous occupant de son action. Il y a alors de grands espaces entièrement couverts de ces sablesmaritimes.

D'autres fois les vagues charrient des sables qui ne sont pas rejetés jusque sur les côtes, et qui restent à une petite profondeur sous forme de bancs. On en trouve ainsi le long des côtes où des fleuves viennent se rendre à la mer, et quelquefois ces bancs submergés s'étendent très-loin du rivage.

ACTION DES COURANS.

Nous ne savons à peu près rien de la puissance érosive des courans, puisque nous ne pouvons les suivre jusqu'au point où ils touchent le sol. Il est probable qu'ils agissent comme les cours d'eau, qu'ils dégradent certains points pour en combler d'autres, entraînant à la fois les sables, les graviers et les corps organiques dont les dépouilles se précipitent tous les jours au fond des mers. On sait que près des côtes les courans entraînent quelquefois les deltas des grands fleuves, tandis que dans d'autres circonstances ils viennent rejeter sur les bords les détritus qui étaient portés trop avant dans la mer. Peut-être doit-on attribuer aux courans la création de certains bancs de sable qui se forment ou s'augmentent sur leur passage. Mais si nous ignorons l'action des courans à une certaine profondeur, nous savons du moins qu'ils ont une grande force de transport, et qu'ils charrient souvent à leur surface ou des montagnes de glaces ou d'immenses débris de forêts. Ils amènent tous les ans sur les côtes glacées du Spitzberg, une énorme quantité de bois. Ce sont des troncs de

mélèses, de pins et d'autres arbres résineux, qui croissent en Sibérie, ainsi que quelques autres espèces qui paraissent originaires de l'Amérique. Ces arbres sont entraînés par les grands fleuves de l'Asie et de l'Amérique. Les uns sont apportés par le courant de Bahama, et les autres par un courant qui règne au nord de la Sibérie. Dans certaines années, les baies du Spitzberg en sont remplies.

M. Robert cite aussi la prodigieuse quantité de bois flottés qu'il rencontra sur les côtes d'Islande, et les examinant avec soin, il crut reconnaître, 1° qu'ils provenaient au moins de deux continens; 2° qu'ils avaient dû atteindre les mers glaciales dans un assez bon état de conservation; 3° qu'avant d'échouer en partie sur l'Islande, ils avaient été engagés dans des glaces, où ils avaient été rabotés au point qu'ils abordaient sans branches, sans racines et sans écorce: cette dernière se trouvant souvent à côté et roulée comme un parchemin. M. Robert a reconnu de l'acajou, dont plusieurs troncs avaient été percés par des tarets, mais il ne put rencontrer aucun fruit (1).

Ces mêmes courans charrient aussi d'immenses nappes de fucus, qu'ils arrachent sans doute aux rochers entre lesquels ils passent avec une certaine vîtesse.

DE L'ACTION RÉUNIE DES MARÉES, DES VAGUES ET DES COURANS.

Nous avons cherché dans ce qui précède à rapporter à chacune de ces causes isolées les effets qui lui appartiennent réellement; mais il est bien difficile de calculer

---

(1) Institut, 4e année, p. 125.

avec justesse celle qui l'emporte dans les divers empiètemens de la mer sur les continens. En résumé, nous voyons que si la mer amène des sables et des cailloux roulés sur les rivages ; si les fleuves, en formant leur delta, s'emparent d'une petite partie de son bassin, d'un autre côté, les vagues, les courans et les marées se réunissent pour entamer les côtes, et rendre à l'Océan, sur des points divers, le terrain qu'il peut avoir perdu sur d'autres.

Ces érosions, produites par la mer, se voient sur presque toutes les côtes. Déjà nous avons cité la formation du Zuyderzée en Hollande ; mais dans cette contrée même l'Océan lutte continuellement contre le delta du Rhin, et si les travaux des hommes, quelques petits qu'ils soient, n'avaient pas mis obstacle à la libre impression des vagues, une partie de la Hollande serait maintenant engloutie, et ce sol, déjà formé de débris, eût été entraîné par la mer qui sans doute l'aurait déposé plus loin. Les îles Sethland, dont le docteur Hibbert a décrit les singulières roches façonnées par l'action de la mer, eussent été détruites depuis longtemps si elles eussent été formées de roches et de terres alluviales comme la Hollande. L'île Julia, qui a surgi dans la Méditerranée, a été bientôt balayée par les vagues qui couvrent maintenant le lieu où elle s'était émergée.

De tels exemples seraient faciles à trouver et à reproduire ; mais l'on sait que l'action destructive de la mer se continue tous les jours, et qu'elle agit indistinctement sur les côtes de la France ou de l'Angleterre, sur les rivages de l'Asie ou sur ceux de l'Amérique.

Il est probable que l'action prolongée de la mer donnera naissance à de nouveaux détroits. Il en est un, peu profond à la vérité, qui semble avoir été creusé

depuis les temps historiques, près de la presqu'île de l'Inde. Il se rapporte aux îles de Manar et de Ramisseram, liées ensemble par un banc de sable appelé *Adam's Bridge* (Pont-d'Adam). La première île est très-rapprochée de la côte de Ceylan, et la seconde assez voisine de la province de Ramnad, dans l'Indostan. Le détroit n'a que 62 milles (20 lieues) de large. Le canal le plus usité pour les petits bâtimens est sur la côte occidentale du détroit, où l'action de la mer produit de singulières digues au moyen de grès désagrégé. D'après les documens conservés dans la pagode de Ramisseram, cette île était encore liée à l'Indostan vers la fin du 15ᵉ siècle. Suivant la direction des moussons, le sable est transporté d'un côté à l'autre du banc appelé Pont-d'Adam (1).

Plusieurs de nos détroits ont probablement été creusés de la même manière, et en aidant un peu à l'histoire, à la manière de certains antiquaires, on retrouverait même quelques traces de l'événement qui a joint la Méditerranée à l'Océan.

« En remontant dans le royaume de Valence, des bords de la Méditerranée vers les hautes plaines de la Manche et des Castilles, on croit reconnaître fort en avant dans les terres, dans des escarpemens prolongés, l'ancienne côte de la Péninsule. Ce phénomène curieux rappelle les traditions des Samothraces, et d'autres témoignages historiques, d'après lesquels on suppose que l'irruption des eaux par les Dardanelles, en agrandissant le bassin de la Méditerranée, a déchiré et englouti la partie australe de l'Europe. Si l'on admet que les traditions doivent leur origine non à de simples rêveries

(1) *Athenæum*, n° 318, 30 nov. 1833, p. 819.

géologiques, mais au souvenir d'une ancienne catastrophe, on voit le plateau central de l'Espagne résister aux effets de ces grandes inondations, jusqu'à ce que l'écoulement des eaux par le détroit formé entre les Colonnes d'Hercule ait fait baisser progressivement le niveau de la Méditerranée, et reparaître, au-dessus de sa surface, d'un côté la Basse-Egypte, et de l'autre les plaines fertiles de Tarragone, de Valence et de Murcie (1). »

Si telle n'est pas l'origine du détroit de Gibraltar, on ne peut du moins disconvenir que la Méditerranée n'ait eu un niveau bien plus élevé autrefois qu'aujourd'hui; au défaut de preuves historiques positives, des faits géologiques le démontrent à l'évidence.

Un isthme étroit unissait probablement aussi les îles Britanniques au continent, et augmentait encore les profondes découpures que nous présentent les côtes de l'Europe. Un détroit dans lequel coulent maintenant deux courans opposés remplace cet isthme, et les couches de terrain qui forment les rivages sur ses deux bords ne laissent aucun doute sur l'ancienne jonction de ces deux terres.

« Transportons-nous à l'époque où la Manche était fermée, et suivons dans sa direction le courant du flot, nous le verrons frapper les côtes d'Angleterre et l'isthme qui la réunissait à la Belgique. Une portion de ce courant se réfléchissait ensuite vers le sud, parallèlement aux collines qui séparent le haut-pays des bas-champs du Boulonnais. Elles étaient alors coupées à pic et contournées par cette espèce de remous auquel elles doivent la forme concave et le gisement qu'elles ont conservés.

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 87.

» Cet état de choses aurait été permanent si l'isthme eût présenté à l'action des vagues une masse indestructible; mais il n'en était pas ainsi, et continuellement attaqué à sa base, il s'en détacha des blocs énormes; les eaux se chargèrent de la marne dont ils étaient composés, elles roulèrent le silex qui y était enveloppé et le déposèrent au pied des falaises qui leur servaient alors de limites. Le remous, dont la direction leur était parallèle, n'avait pas une fort grande largeur; il rencontrait à peu distance de la côte le courant principal dirigé en sens contraire; il se formait à cette rencontre une lame ou molle-eau dans l'étendue de laquelle la vîtesse étant nulle, les molécules terreuses qui provenaient de la destruction de l'isthme, et que les eaux tenaient suspendues, se déposaient sur le fond où elles ont formé, par un exhaussement successif, les terrains qui sont maintenant renfermés de digues le long de la mer dans le Pas-de-Calais. La partie la plus haute de ces espèces d'écueils se trouvait précisément sur la limite du courant principal et du contre-courant. Le lit de celui-ci, occupant en quelque sorte tout l'espace compris entre eux et les anciennes côtes, conserva une plus grande profondeur. Ainsi ces écueils, qui découvraient peut-être à marée basse, ont servi de points d'appui à des alluvions postérieures et ont formé, dans les premiers temps qui suivirent la destruction de l'isthme, de petites îles dont les historiens font mention.

» Le remous auquel nous venons d'attribuer la formation des bas-champs du Boulonnais s'établissait, comme nous l'avons dit, par le retour des eaux du courant principal, après qu'elles avaient frappé la langue de terre dont il est question, c'est-à-dire lorsque la mer était déjà montée d'une certaine quantité dans

toute l'étendue du golfe ; mais avant que le remous commençât à se faire sentir, une portion du courant principal se dirigeait depuis le cap d'Antifer parallèlement aux falaises de la Haute-Normandie, et suivait le pied des collines d'Ovival et de Brutelle qui se prolongent dans la même direction. Cette portion du courant avait une vîtesse moindre que celle du courant principal dont elle était détachée, de sorte que celui-ci était parvenu au fond du golfe et s'était déjà réfléchi parallèlement aux côtes du Boulonnais, lorsque le courant secondaire parvenait à l'extrêmité des falaises que nous venons d'indiquer. Ce dernier aurait contourné le rocher de St-Vallery et se serait prolongé au delà, si les eaux amenées par le remous dans une direction contraire, ne lui eussent pas présenté un obstacle; mais celles-ci, après avoir couvert l'emplacement de Marquenterre, tendaient également à contourner le Mont-Blanc, en entrant par la vallée d'Amboise. Les deux courans opposés se rencontraient entre cette petite montagne et l'extrêmité de la falaise de Brutelle, où se trouve aujourd'hui le village de Pandé. L'équilibre s'établit entre leurs actions réciproques, les sables qu'ils charriaient s'y déposèrent et formèrent une espèce de barre.

» Voilà sans doute l'origine de cette crête sablonneuse qui sépare les bas-champs d'Etrebœuf de ceux de Leuchère et de Sallenelles, et au pied de laquelle la petite rivière d'Amboise prend sa source.

» Si, au lieu de supposer que les collines de Boismont et de Port se réunissaient entièrement pour fermer le lac dont la vallée de Somme a depuis occupé la place, on imaginait qu'elles étaient séparées par une petite gorge, cette gorge dut bientôt être obstruée par les matières que les eaux du contre-courant, devenues stag-

nantes, déposaient, et ce dépôt n'aurait pas tardé à former une digue qui aurait soutenu les eaux du lac dont le fond s'inclinait alors depuis la mer jusqu'au point où sa profondeur était la plus grande dans l'intérieur de la vallée.

» C'est de la superficie des bancs qui se formèrent à cette époque au fond de la petite anse où la Somme a maintenant son embouchure, que les vents élevèrent tout le sable qui recouvre aujourd'hui le cap Cornu et ses environs. Il est en effet extrêmement fin et ne contient ni gravier ni cailloux roulés, ce qui caractérise essentiellement les dunes; car les dépôts sablonneux, qui doivent leur origine à des courans, en sont d'autant plus mélangés et les présentent dans un désordre d'autant plus marqué, que les eaux qui les ont charriés étaient plus fortement agitées.

» Pendant qu'un courant violent agissait dans la Manche contre la langue de terre qui joignait le continent à la Grande-Bretagne, et que différens remous préparaient de nouvelles terres le long des côtes de la France, un autre courant détaché de celui qui fait refluer les eaux de l'équateur aux pôles, contournait les Iles Britanniques et venait par la mer du Nord attaquer le même isthme. Quelqu'épaisseur qu'on lui suppose dans son état primitif, il devait enfin céder à la constance et à l'énergie des causes qui tendaient à le détruire. Sa destruction dut même s'accélérer d'autant plus que les côtes qu'il présentait aux deux mers s'élevaient verticalement et semblaient braver avec plus d'audace l'effort réuni de leurs flots.

» Nous voici parvenus à une époque où un nouvel état de choses va s'établir : une partie du continent va en être séparée, et les eaux qui s'amoncelaient au fond d'un golfe vont s'écouler par un détroit. Arrêtons-nous

un instant à décrire les circonstances dont cette catastrophe fut probablement accompagnée.

» Le détroit n'eut point d'abord la largeur que nous lui voyons aujourd'hui : ce ne fut dans les premiers temps de son existence qu'un simple pertuis qui peut-être même ne fut pas ouvert dans toute la hauteur de la côte ; mais il ne tarda pas à s'élargir et à devenir plus profond. Le courant qui entrait dans la Manche, arrivant à son extrêmité beaucoup plus tôt que celui qui contournait l'Angleterre, les eaux du premier s'écoulèrent avec force dans la mer du Nord, en rongeant les revers de leur nouvelle issue, dont elles entraînèrent au loin les débris. A mesure qu'elles se frayèrent un passage plus proportionné à leur volume, on conçoit qu'elles s'élevèrent successivement à une moindre hauteur le long des côtes, et qu'enfin le détroit s'étant élargi convenablement, les hautes mers se sont abaissées à leur niveau actuel. Cet élargissement a sans doute été l'ouvrage de plusieurs siècles, pendant lesquels les marées se sont fait sentir dans quelques vallées fort au-dessus des points où elles parviennent aujourd'hui. De là ces anciennes traditions qui indiquent certains lieux élevés et reculés dans les terres comme ayant été autrefois baignés par les eaux de la mer.

» Cette tradition, qui s'est conservée dans la vallée de Somme, porte à croire que le lac auquel elle servait de lit fut ouvert à son embouchure avant que le détroit eût acquis une largeur suffisante pour abaisser le niveau des marées dans la Manche au point où il est descendu depuis. On conçoit que par l'écoulement des eaux dans la mer du Nord, les courans qui avaient alors régné le long des côtes, durent éprouver quelque changement en direction et en intensité. Le remous qui suivait du nord au sud le rivage occidental de l'ancienne Belgique, dut par-

tout perdre de plus en plus de sa force. Non-seulement il détruisit moins rapidement les falaises qu'il contournait, mais encore il transporta à de moindres distances les matières qui en provenaient. Les dépôts qu'il en avait formés autrefois dans le renfoncement qu'occupe l'embouchure de la Somme, cessant d'être alimentés, éprouvèrent eux-mêmes le sort des collines à la destruction desquelles ils devaient leur formation. Ils furent attaqués avec d'autant plus de violence que les vents du nord-ouest dont la fréquence avait probablement déjà lieu, portait l'action des vagues directement contre eux. Enfin, le prolongement des petites falaises de Port et de Boismont contre lesquelles ils étaient adossés, demeura exposé à son tour aux efforts de la mer. Comme cette espèce de digue s'inclinait vers les terres, son sommet s'abaissa à mesure que ses fondemens furent sapés, et il arriva une époque où les eaux retenues dans le lac commencèrent à s'écouler en tombant par une ou plusieurs cascades qui produisirent au pied de la falaise un afouillement dont la direction prépara l'embouchure future de la Somme.

» D'autres causes non moins énergiques se réunirent aux efforts de la mer, pour anéantir la digue qui soutenait encore à une certaine hauteur les eaux qui couvraient la vallée. Les filtrations, les gelées, l'action des pluies, mais particulièrement le courant de la marée montante et descendante, achevèrent de détruire la contre-pente suivant laquelle le fond du lac était incliné vers les terres. Il est en effet facile d'imaginer que les eaux de la mer qui s'élevaient encore dans le canal britannique à une plus grande hauteur qu'aujourd'hui, devaient entrer dans la partie inférieure de la vallée de Somme, et en sortir avec une vitesse fort au-dessus de celle dont elles sont animées lorsqu'elles y entrent

ou qu'elles en sortent dans l'état actuel. C'est aussi à la rapidité du torrent qu'elles formaient qu'il faut attribuer l'escarpement de la petite montagne de St-Vallery, dont elles baignaient le pied du côté du nord, et celui de la colline sablonneuse qui s'étend en talus fort incliné depuis le cap Cornu jusqu'à l'origine des bas-champs du côté du Hourdel.

» Avant que les eaux du lac dont il est question se fussent réunies et eussent creusé le lit de la Somme, les bords en étaient habités par de petites peuplades, dont, à la vérité, ni l'histoire ni aucune tradition n'ont conservé le souvenir, mais de l'existence desquelles il n'est pas permis de douter. Leur position sur les bords d'un vaste étang dut les porter à faire de la pêche leur principale occupation, peut-être même y furent-elles attirées par la facilité qu'elles trouvèrent à en tirer leur subsistance, dans un siècle où l'agriculture n'avait pas civilisé les hommes.

» Les habitans des deux villes opposées ne regardèrent pas long-temps la vallée qui les séparait comme un obstacle à leur réunion ; ils avaient eu fréquemment l'occasion de sonder la profondeur du lac, sur lequel ils avaient appris à diriger leurs pirogues. Ils reconnurent la possibilité de barrer la vallée, et ils élevèrent jusqu'au-dessus de la surface des eaux, ces chaussées de tuf dont quelques-unes existent encore aujourd'hui. Les matériaux dont ils les construisirent exerçant une forte pression sur la tourbe encore liquide qui couvrait le fond de l'étang, produisirent l'affaissement et l'inflexion de cette couche, ainsi qu'on peut encore le remarquer dans les endroits où ces chaussées ont été coupées transversalement au-dessous du terrain naturel.

» A mesure que ces peuplades s'étendirent et s'accrurent, le besoin d'établir des communications faciles

se fit sentir, et la vallée se couvrit de digues, au moyen desquelles il devint aisé de la traverser. Lorsque des pluies considérables faisaient gonfler les eaux supérieures, elles s'écoulaient par-dessus chacune d'elles, jusqu'à ce qu'elles fussent abaissées à leur hauteur ordinaire; ainsi l'aspect primitif de la vallée fut changé par le travail des hommes; ce n'était plus un lac continu, mais de petits étangs séparés les uns des autres, sur lesquels on reconnaissait peut-être déjà le droit de propriété.

» S'il existe dans certaines contrées des habitudes que le temps n'ait point détruites, et que les progrès de la civilisation n'ont pu que faiblement altérer, le genre de vie actuel des pêcheurs de la Haute-Somme vient à l'appui de nos conjectures sur celui des anciennes peuplades que nous supposons avoir habité sur ces bords. Une longue suite de siècles n'a point entièrement dénaturé les mœurs de ces anciens habitans. L'usage de retirer des eaux l'objet de leurs premiers besoins s'est transmis d'âge en âge, et s'est conservé à travers les révolutions avec d'autant plus de facilité, que la pêche dont ils s'occupaient n'exigeant aucune fatigue, a favorisé l'oisiveté naturelle et le goût du repos qui éloignent encore aujourd'hui leurs descendans des travaux pénibles de l'agriculture (1). »

Nous avons rapporté cet exemple avec détails, pour montrer combien les faits géologiques, quand ils sont recueillis avec autant de sagesse et de discernement, et enchaînés avec une si saine logique, l'emportent sur la confusion des récits historiques, et combien les phéno-

---

(1) GERARD, *Sur l'Histoire physique de la vallée de la Somme*, p. 30 et suiv., et *Annales des Mines*.

mènes de la nature sont plus instructifs que les annales des peuples. Cet exemple remarquable prouve d'ailleurs l'immense influence que peut exercer l'action érosive des mers sur la configuration des continens. Qui sait si plusieurs péninsules ne se détacheront pas encore de l'Europe, et si l'isthme de Suez et celui de Panama ne tomberont pas un jour sous l'action séculaire des vagues et des courans?

CHAPITRE DOUZIÈME.

ACTION DE L'EAU SOLIDE.

L'EAU ayant la propriété de s'infiltrer partout et de pénétrer un grand nombre de roches, il en résulte qu'elle acquiert tout-à-coup une grande puissance de destruction, si la température vient à s'abaisser au-dessous de o. Que l'on se rappelle, en effet, que ce liquide augmente de volume en se solidifiant, et l'on concevra de suite les résultats de cette cristallisation entre de petites lames de roches. Les fragmens, violemment écartés, sont séparés de la masse principale, et au dégel, lorsque l'eau figée qui les unissait encore s'est liquéfiée, tous les fragmens se détachent et tombent.

Si la roche est calcaire, ou argilleuse, ou enfin qu'elle puisse s'imprégner d'eau jusqu'à une certaine profondeur, on voit paraître à sa surface de l'eau congelée en aiguilles soyeuses, tout-à-fait semblable à celle qui naît sur les terrains humides et dont nous avons déjà parlé. Ces masses fibreuses enlèvent avec elles des écailles de roche, qui tombent par la suite, ainsi que toute la croûte que le liquide a pénétrée. Si le rocher sur lequel l'eau agit est schisteux, il est promptement réduit en petits fragmens. On se fait difficilement une idée de la puissance de destruction que possède l'eau dans cette circonstance. Elle agit avec une force immense et détache souvent des blocs énormes qui roulent avec

fracas dans les hautes vallées des montagnes, entraînant avec eux de nombreux débris, et forment ainsi de véritables avalanches de pierre. D'autres fois de grosses masses sont simplement fendues et séparées en deux parties qui peuvent rester à côté l'une de l'autre. On remarque assez souvent des fentes de ce genre dans de grosses boules de granite, et ce qui fait présumer que ces boules ont été fendues par la gelée, c'est que la fente de séparation est ordinairement tournée par en haut. S'il existe des fentes sur le côté, elles ne peuvent se remplir d'eau, et par conséquent contribuer à briser le bloc en plusieurs fragmens (1).

Les crêtes élevées de toutes les montagnes sont continuellement attaquées par ce mode d'érosion, qui devient aussi très-fréquent et très-actif dans les régions polaires. Ainsi M. Scoresby rapprote que dans un de ses voyages au Spitzberg, il gravit avec des peines infinies une montagne de 3,000 pieds, parce que ses flancs, depuis la base jusqu'au sommet, étaient couverts de petites pierres parmi lesquelles on en aurait difficilement trouvé une qui pesât seulement une livre. M. Scoresby était trop bon observateur pour ne pas s'apercevoir que cet état de chose était dû à la gelée, d'autant plus que toutes les montagnes du Spitzberg lui ont offert le même genre de disgrégation qui est, du reste, favorisé par leur structure schisteuse et la présence des nombreuses veines calcaires qui les traversent.

La glace qui se forme au fond des rivières agit à peu

---

(1) Je ne veux pas dire que tous les blocs fendus et restés sur place aient été brisés par cette cause. Je suis loin d'adopter les idées exclusives, mais je pense que telle est l'origine de plusieurs fractures dans les grosses masses de rocher.

près comme celle qui cristallise dans les fissures des roches, mais ses effets sont cependant moins intenses et bien moins fréquens.

Celle qui couvre la surface des lacs et des rivières n'exerce aucune action remarquable quand elle se forme; mais les débâcles, sur les grandes rivières, deviennent encore une cause de destruction pour leurs rives. C'est un spectacle à la fois imposant et terrible que d'assister à la débâcle d'un grand fleuve du nord. Un bruit sourd et lointain se fait entendre, et bientôt de violentes détonnations annoncent l'approche des glaçons et la rupture de la couche de glace. Celle-ci s'étoile avec des craquemens épouvantables; de longues fissures sillonnent sa surface, tantôt droites, tantôt ondulées, le plus souvent brusquement fléchies sous des angles divers, comme si la glace variait en épaisseur et en solidité. De larges tables glacées avancent en se choquant, et le flot qui les porte, appuyant de tout son poids, brise avec elles les nappes de glace qui sont encore juxta-posées. Tout alors se confond et ressemble à un immense glacier qui avance avec vîtesse. Rien ne résiste à ses flots armés de glaces coupantes et d'énormes masses qui frappent ses rives et détruisent tout ce qu'ils y rencontrent. Les rochers eux-mêmes sont parfois entraînés, et des troncs d'arbres flottans ou enchâssés dans une masse transparente descendent jusqu'à la mer, où l'eau reprend sa fluidité et ses caractères ordinaires.

Les glaciers qui descendent des hautes montagnes possèdent aussi une assez grande puissance de destruction. Comprimés par les couches supérieures, ils exercent une pression assez forte sur les parois des gorges et des vallées. Ils en usent et polissent les rochers, comme le feraient des cours d'eau animés d'une grande vîtesse;

ils rencontrent eux-mêmes sur leur route des fragmens très-volumineux; ils reçoivent ensuite un grand nombre d'avalanches qui amènent à leur surface une grande quantité de débris, et semblables à des chemins qui marchent, ils conduisent lentement au bas de la vallée et l'eau qui s'est solidifiée sur le sommet, et les fragmens détachés qui en descendent. Arrivés au bout de leur trajet, les glaciers fondent et abandonnent tous ces débris qui restent long-temps enchâssés par la glace. Il en résulte les moraines, vastes collections de roches de toute espèce que les glaciers amènent des hautes régions où souvent nous ne pouvons pas pénétrer. Plusieurs circonstances déterminent la progression ou le retrait de l'extrémité du glacier. Dans le premier cas, il pousse devant lui la moraine qu'il fait avancer comme le flotteur d'un thermomètre à *maxima;* et dans le second, il la laisse à la plus grande distance qu'il ait pu atteindre, marquant ainsi la limite extrême de ses excursions.

Tout avance avec le glacier, et les blocs qui sont sur ses bords, et ceux qui sont à sa surface, et les crevasses dont il est parsemé. Les corps étrangers que l'on y abandonne descendent avec lui et reparaissent tôt ou tard à son extrémité. Une échelle, que le célèbre de Saussure avait laissée à la partie supérieure d'un glacier quand il fit sa première ascension au col du Géant, fut retrouvée dernièrement dans la mer de glace, presque vis-à-vis l'aiguille du Moine. Elle avait avancé de trois lieues depuis l'année 1787 (1). Plusieurs glaciers avancent bien moins vîte que celui-ci.

Si, à l'extrémité d'une vallée où descend un glacier,

---

(1) *Philosophic. Magazine*, 1831, cité par Labèche.

se trouve une autre vallée plus profonde ou un précipice, d'énormes masses de glaces et de roches se détachent et tombent avec fracas, formant ainsi des amas très-considérables de fragmens hétérogènes qui s'accumulent depuis des siècles.

Dans le nord, où les glaciers viennent souvent se jeter directement dans la mer, ils conduisent avec eux une partie de leurs moraines et donnent naissance à ces montagnes de glace qui flottent dans l'Océan et que les courans conduisent lentement au midi. On voit quelquefois sur ces masses glacées de gros fragmens de rochers, de la terre et même des végétaux, qui s'éloignent sur ces masses flottantes des lieux de leur origine, puis les glaces se fondent, et ces blocs, tout-à-fait étrangers aux points où ils s'arrêteront, vont, à d'immenses profondeurs, pénétrer de nouveaux terrains et s'identifier à de nouveaux dépôts.

CHAPITRE TREIZIÈME.

DU DÉPOT DES BLOCS ERRATIQUES.

On donne le nom de *blocs erratiques* à de gros fragmens anguleux de roches étrangères au lieu où on les trouve et dont le véhicule a disparu (1). Il ne faut pas confondre ces masses de rochers avec celles que charrient les rivières et dont les angles sont généralement plus arrondis.

On trouve des blocs erratiques de toutes les dimensions; quelques-uns ont plusieurs toises cubes, mais il y en a de beaucoup plus petits, qu'il faut prendre garde de confondre avec ceux qui sont le résultat du transport journalier des cours d'eau. Quand ces blocs sont d'un petit volume, on ne peut savoir s'ils appartiennent réellement à ceux qui nous occupent qu'en les comparant à de plus gros qui appartiennent évidemment à ce groupe, et qui se trouvent dans les mêmes localités. Un grand nombre de roches composent ces fragmens : ce sont des granites, des gneiss, des porphyres, des calcaires, mais en général des roches non stratifiées, quoique cependant on en ait observées contenant des fossiles.

(1) Boué, *Agenda du Géologue*, t. II, p. 94.

Ces blocs sont anguleux quand ils sont gros; on en voit même dont les arêtes sont très-vives. Quand ils sont peu volumineux, les angles s'émoussent, et l'on en trouve qui sont presque arrondis.

Rarement ils sont recouverts, mais quelquefois on les rencontre enchâssés dans le sable ou les graviers. Le plus ordinairement, ils gisent à la surface du sol où ils sont simplement posés ou un peu enfoncés.

On les trouve à toutes les hauteurs. Ainsi, ils sont très-élevés dans les Alpes et le Jura; ils sont presque au niveau des mers dans le nord de l'Europe. On remarque cependant que ces énormes masses sont rarement disséminées dans les plaines. Elles se sont arrêtées de préférence sur le versant des montagnes et des collines.

Quelquefois des masses appartenant à des roches très-différentes se trouvent mélangées dans un même bassin ou sur un même versant. Le plus souvent pourtant, les espèces sont comme classées, et les blocs analogues forment des groupes séparés. On les voit disposés en longues traînées affectant des directions assez constantes, ou bien formant des courbes et même des ellipses. Ils occupent souvent des pentes opposées à de grandes vallées, ou le revers de certaines chaînes de montagnes.

On a beaucoup cherché à connaître le point de départ de ces blocs, et pour cela on a suivi leur traînée avec la plus grande persévérance. On est parvenu de cette manière à trouver le point de départ de plusieurs d'entre eux, et à reconnaître à peu près la route qu'ils ont suivie. Il en est d'autres dont l'origine est extrêmement problématique.

Ces blocs sont un phénomène assez commun sur la

terre, et presque toutes les contrées qui ont été bien étudiées par les géologues en ont offert des traces.

On en rencontre un grand nombre au pied des Alpes, sur les pentes du Jura qui font face aux grandes vallées transversales qui descendent de ces hautes montagnes. De Saussure les a fréquemment signalés. Ce phénomène n'est cependant pas général dans les Alpes. Il est restreint, sur le pied méridional de cette chaîne, entre le Piémont et le Bergamasque, et sur le versant nord, entre le Dauphiné et l'Autriche. L'intensité du charriage semble diminuer depuis un point central formé par les bassins du Léman, de l'Aar et de la Reuss. Dans les Alpes orientales et les Carpathes occidentales, s'il y a quelques blocs, ils sont infiniment plus petits et isolés; ils ne sont plus réunis en grandes traînées. M. de Buch a observé que les blocs qui sont descendus des Alpes du Valais, et qui existent sur le Jura, aux environs d'Yverdun, sont disposés devant chaque vallée à des hauteurs qui vont en décroissant de part et d'autre de la direction centrale de la vallée, de manière à former une zône dont le point culminant fait face au centre de l'embouchure du Valais (1).

Le nord de l'Europe offre un grand nombre de ces masses problématiques. Depuis long-temps, on en avait indiqué en Suède, et M. Brongniart a eu occasion de les étudier dans un de ses voyages. Tout porte à croire que ces blocs viennent du nord; car ce savant a remarqué que tous les débris qui appartiennent au terrain de transport sont disposés par lignes qui se croisent quelquefois, mais qui ont une direction générale

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 17.

du nord au sud (1). Le comte Razoumowski a observé, entre St-Pétersbourg et Moscou, de longues séries parallèles de ces mêmes blocs; elles étaient dirigées du nord-est au sud-ouest. Ce géologue a reconnu, en les examinant, des roches qui proviennent évidemment de la péninsule scandinave, malgré la séparation que forme aujourd'hui la méditerranée Baltique. L'Allemagne présente aussi, en plusieurs lieux, des blocs qui ont la même origine que ceux de la Russie.

L'Angleterre, qui a été si bien étudiée sous le rapport géologique, a offert aussi ses masses errantes. D'abord, le docteur Hibbert a remarqué aux îles Sethland d'énormes roches qu'un choc venant du nord a reculées à environ un mille de leur point d'origine. Dans une autre de ces îles, à *Papa-Stour*, il a rencontré des fragmens qui proviennent de *Hillswich-Ness*, et qui doivent avoir franchi une distance de 12 milles (environ 4 lieues). Entre la Tamise et la Tweed, on a trouvé des blocs erratiques dont on ne peut trouver les analogues qu'en Norvège.

L'Amérique du nord offre aussi des traces nombreuses d'un grand transport, dont les matériaux sont rangés aussi dans une direction qui indique une violente impulsion du nord au sud. On cite même, dans les États-Unis, des sillons tracés sur les roches, et que l'on considère comme produits par le frottement de grosses masses anguleuses violemment transportées. Des traces semblables ont été observées dans le nord de l'Ecosse par sir James Hall (2), qui, en considérant

(1) Alex. Brongniart, *Annales des Sciences naturelles*, t. XIV, p. 13.

(2) *Trans. Royal Soc. Edimburg.*

la direction de ces sillons sur des couches solides, en a conclu qu'auprès d'Edimbourg le courant se dirigeait à l'ouest. L'Amérique méridionale est couverte, sur certains points, de ces masses problématiques, et il serait bien curieux de rechercher si elles sont le résultat d'une grande action polaire analogue à celle qui se montre dans toute la partie nord de l'hémisphère boréal. Dans son intéressant Voyage au Chili, M. Gay a remarqué, dans l'Hiacenda de Canquenes, que les vallons de ce canton sont profonds, à parois escarpées et composées uniquement de basaltes et de roches analogues, les seules qui soient à 20 lieues à la ronde. On ne connaît dans ces vallons, ni à leur origine, ni dans cette circonscription, aucun banc, aucun pic, aucune masse de granite en place, et cependant ces vallons sont encombrés jusqu'au tiers de leur hauteur et comme obstrués par une accumulation immense de galets et de blocs de granite. « Ce phénomène, signalé depuis quelques années dans toute l'Europe, dit M. Brongniart, rapporteur à l'Institut des observations géologiques de M. Gay, et notamment sur les bords de la Baltique, est encore plus inexplicable ici, où il se présente sur un terrain d'une nature tout-à-fait différente de ceux où il s'est montré dans l'Europe septentrionale, et dans des vallons de 10 à 12 lieues d'étendue, fermés de tous côtés par des collines escarpées que les cailloux et blocs ne semblent avoir pu surmonter. »

On voit par ce qui précède que le phénomène des blocs erratiques tient évidemment à des forces de transport très-considérable, et dont le premier développement est peut-être bien éloigné de l'époque actuelle. Quand on songe que les blocs qui couvrent le sol de la Russie y sont arrivés malgré l'obstacle de la mer Baltique; quand on réfléchit que ceux qui sont épars sur

l'Angleterre viennent de la Norvège, malgré l'étendue de mer qui sépare ces contrées; lorsqu'enfin on fait attention que ceux qui sont descendus des Alpes ont remonté en grande partie les pentes du Jura, on reste très-embarrassé d'expliquer, non pas l'origine des masses, puisqu'on arrive graduellement à leur point de départ, mais le mode de transport qu'elles ont éprouvé.

En considérant la direction générale qu'ont prise la plupart de ces blocs; en examinant l'énorme masse de cailloux roulés de toutes les espèces qui couvrent les terres du nord dans les deux continens, et qui plusieurs fois même ont rempli les fissures du sol, on ne peut nier qu'une cause puissante n'ait soulevé les flots, qui auront déposé sur leur passage les débris qu'ils apportaient et ceux qu'ils enlevaient à chaque instant. Nous verrons par la suite que des secousses violentes ont très-vraisemblablement pu produire cet effet.

D'un autre côté, comment supposer que des masses de roches de plusieurs toises cubes, et par conséquent extrêmement pesantes, aient pu être soulevées par les flots et chassées à d'aussi grandes distances? Quelques géologues répondent, il est vrai, à cette objection, que ces masses ont été transportées sur des glaçons que les courans du nord entraînaient vers le sud, comme ils le font encore actuellement, et le fait est que, de nos jours, des blocs erratiques doivent tomber à chaque instant près des côtes de l'Islande et du Groenland, où, chaque année, les montagnes de glace les charrient; mais si ce mode de transport est réellement celui qui a amené les blocs, pourquoi cette constance de direction sous laquelle ils se présentent en lignes parallèles? Les courans eussent-ils été capables de les déposer suivant ces lignes? En admettant même cette invrai-

semblable hypothèse, les blocs, en tombant au fond des mers, auraient dû glisser et s'accumuler dans les lieux les plus bas, tandis qu'ils sont presque toujours situés sur des plans inclinés, comme on le voit dans le Jura et comme le comte de Razoumowski l'a remarqué aussi en Russie, où ils semblent avoir été arrêtés contre des plans inclinés sans lesquels ils auraient continué leur course. Il faudrait alors supposer que les glaces fondant peu à peu ont fini par être entraînées par les masses de pierres qu'elles charriaient, et que, suspendues entre deux eaux, elles ont été arrêtées par les éminences qui étaient au fond du bassin. Resterait encore, pour beaucoup de géologues, de graves difficultés pour changer ce fond de mer en continens.

D'autres ont admis que le transport des blocs avait eu lieu avant le creusement des vallées intercalées et par de simples courans d'eau. Ainsi ceux de la Scandinavie seraient descendus en Russie avant le creusement de la profonde vallée que la Baltique emplit de ses eaux. Ceux du Jura se seraient fixés sur ces pentes avant l'érosion de la grande vallée qui le sépare des Alpes (*Fig.* XIV).

Cependant le transport de ces derniers semble plus facile à déterminer que celui des masses séparées de leur point de départ par des mers étendues. On a cru d'abord pouvoir donner une explication satisfaisante du déplacement de ces blocs, en admettant de grands lacs dans les hautes vallées. Tout-à-coup les digues auraient été rompues, et les eaux descendant avec impétuosité, auraient charrié les plus gros blocs à l'aide d'une pente rapide et une forte puissance d'impulsion. M. de Buch, sans admettre précisément de semblables débâcles, regardait pourtant ces blocs comme entraînés par de grands courans d'eau. Il mettait surtout en première ligne la densité de l'eau produite par les matières ter-

reuses qu'elle tenait en suspension et qui la rendaient capable de vaincre suffisamment la pesanteur des blocs et de les empêcher de tomber ailleurs que sur les digues qu'elle rencontrait dans son cours. Ainsi s'explique naturellement la disposition en demi-cercle que nous avons déjà décrite, car les masses ont dû se déposer à des hauteurs plus ou moins grandes, suivant qu'elles se trouvaient plus ou moins dans le centre du courant. Nous avons vu plus haut, en parlant de quelques éboulemens produits par l'eau de source, comment les courans de boue transportent facilement les plus gros rochers. Tel a été, selon toute apparence, le mode de transport des blocs alpins, et cette opinion devient très-admissible si l'on suppose, comme le pense M. Elie de Beaumont, qu'une violente secousse imprimée à la chaîne des Alpes, lorsqu'une partie de ses montagnes existait déjà, a fondu tout-à-coup leurs glaciers et a produit ces torrens d'eau et de fange qui avaient une si grande force de transport. Ces blocs seraient donc ceux qui gisaient sur les flancs de ces montagnes, comme on en trouve presque partout, détachés par les pluies, ou plutôt par une disgrégation de la roche dont les parties les plus dures restent saillantes, et que ces grands courans diluviens auraient entraînés avec la moraine des glaciers.

M. de Carpentier a émis aussi une idée très-ingénieuse sur l'origine des blocs alpins. Il avait reconnu avec raison leur grande analogie avec ceux que charrient les glaces et qui marchent en avant des glaciers. Il avait supposé que ces blocs erratiques étaient de grandes moraines, que de puissans glaciers descendant des Alpes et appuyant leurs bases sur les pentes du Jura, les y avait appliqués en éventail, et les avait abandonnés en se retirant. Ce savant explique la présence de

ces mers de glaces, en admettant que les Alpes avaient été primitivement soulevées bien au-dessus de leur élévation actuelle. Les glaciers, qui alors étaient en rapport avec cette énorme saillie, s'étendirent jusqu'aux points où les blocs sont restés comme les flotteurs d'un grand thermomètre, pour indiquer la plus grande extension de sa colonne. Les Alpes, mal assises, se seraient peu à peu affaissées, pour arriver à l'état de stabilité qu'elles offrent aujourd'hui, et les glaciers se seraient graduellement reculés jusqu'aux limites qu'ils occupent à présent (1).

Quelle que soit la cause de ce grand phénomène, il semble lié, comme nous le verrons par la suite, au transport de vastes alluvions, qui coïncident avec l'anéantissement de quelques grands mammifères dont les dépouilles sont maintenant les seuls témoins de leur apparition sur la terre.

---

(1) *Annales des Mines*, 3e série, t. VIII, p. 234.

CHAPITRE QUATORZIÈME.

DES ACTIONS CHIMIQUES.

En nous occupant des forces agissantes mécaniques, nous avons isolé autant que nous avons pu les actions spéciales produites par chaque cause séparée, mais, en résultat, nous avons vu que toutes ces forces se réunissaient en une action de transport, ou qu'elles consistaient à enlever des matériaux d'un point pour les déposer dans un autre. Nous aurions pu par conséquent les partager en *forces destructrices* et en *forces créatrices*.

Nous adopterons cette division pour les actions chimiques, que nous ne pourrions étudier isolément à cause des nombreux rapports qu'elles ont entre elles. Il y a aussi des actions chimiques qui s'opèrent à l'aide de grandes variations de température et qui dépendent entièrement des forces intérieures de notre planète. Nous n'en parlerons qu'en traitant de ces forces.

ACTIONS CHIMIQUES DESTRUCTRICES.

L'air et l'eau pure ou chargée de différentes matières sont de grands agens de destruction.

L'air agit principalement par l'oxigène qu'il contient, et qui est absorbé par un grand nombre de matières.

Il forme, en pénétrant dans les roches, des composés nouveaux, et changeant leur structure interne, il les rend très-faciles à disgréger.

L'eau agit chimiquement par sa grande vertu dissolvante, à l'état de vapeur, de brouillard, de neige, de pluie ou de courant; elle pénètre et dissout un grand nombre de corps qu'elle entraîne au loin pour former des combinaisons nouvelles.

Elle a peut-être plus d'action sous la forme de vapeur ou à l'état de dissolution dans l'air atmosphérique; car c'est à l'air humide qu'il faut attribuer les plus nombreuses et peut-être les plus puissantes réactions chimiques.

C'est presque toujours, comme nous le disions tout à l'heure, par une plus forte oxidation du fer, que la décomposition commence; aussi, l'on voit des pyrites exposés à l'air qui se décomposent avec rapidité et se transforment en sulfates. Les roches schisteuses et alunifères se disgrégent avec la plus grande facilité quand elles sont exposées quelque temps à l'humidité.

Les pluies agissent plus promptement en lessivant les terrains et entraînant les sels, comme cela a lieu dans différentes parties de l'Afrique et de l'Asie, où le sol se couvre souvent d'efflorescences salines, et comme on le remarque aussi dans nos contrées pour des roches alunifères ou magnésifères. Si la pluie est peu abondante, elle dissout seulement une petite portion de la matière saline, et il se produit ainsi des croûtes à structure concrétionnée.

Les eaux souterraines dissolvent presque toujours une petite portion des matières qu'elles traversent. Ainsi, on voit des cavités qui ont évidemment été creusées par le passage long-temps continué des eaux. On remarque surtout ces cavités dans les terains calcaires,

et l'on suppose même qu'une partie des cavernes a été, sinon creusée, au moins agrandie de cette manière. On conçoit que des masses entières de sel gemme contenues dans des terrains de nature diverse aient pu être promptement dissoutes par l'eau et aient laissé un vide proportionné à leur étendue. L'eau a pu agir de même, mais plus lentement, sur des masses de gypse situées dans la même position; elle a pu même dissoudre à la longue le ciment de grès calcaires et ajoutant sa force mécanique à cette action, entraîner des couches partielles de terrain ou agrandir au moins des cavités souterraines.

Si maintenant nous ajoutons au pouvoir dissolvant de l'eau quelques matières salines en dissolution, comme des alcalis, des carbonates alcalins, et surtout l'acide carbonique, nous la trouverons capable de bien plus grands résultats. Ce sont sans doute des eaux ainsi chargées d'acide qui ont ouvert une partie de ces longues galeries où l'on trouve maintenant le limon ossifère. Profitant des fentes ou des fractures préexistantes, elles ont rapidement dissous les parois et élargi les couloirs. Rien de plus facile, dans cette hypothèse, que de se rendre raison de ces élargissemens successifs que présentent plusieurs de ces longs corridors souterrains. Il suffit d'admettre que la roche qui n'était pas homogène, était plus tendre et plus attaquable dans ces points qui sont devenus des salles spacieuses.

Cette même eau, chargée de carbonates alcalins, a pu, dans diverses circonstances, attaquer des roches bien plus dures que des calcaires, et même creuser des roches cristallisées. On voit ainsi plusieurs bassins qui ont été dissous par l'action d'eaux minérales de cette nature.

M. Fournet, qui a recueilli sur l'altération chi-

mique des roches, des observations si savantes et présentées avec une clarté si remarquable, cite un fait qui vient confirmer la puissance d'action que les eaux peuvent acquérir dans ces circonstances. « Dans un travail de recherche poussé en 1833 sur une veine de plomb sulfuré dans le filon du Pré à Pontgibaud, les mineurs furent arrêtés par un jet d'eau extrêmement violent, auquel un coup de poudre venait de donner issue. Il était aisé de reconnaître au ronflement qui l'accompagnait, que cette eau était chargée, comme de coutume, d'acide carbonique fortement condensé, et d'ailleurs il fut impossible de pénétrer de quelques jours dans la galerie à cause de l'irruption du gaz. L'eau qui sortit dans le premier moment était surchargée d'une matière argileuse blanche qu'elle tenait en suspension et qui lui donnait l'apparence d'un lait épais. M. Fournet se borna à cette remarque, attribuant alors ce fait à l'argile des salbandes qui aurait été délayée. Dès qu'il fut possible de rentrer dans les travaux, M. Fournet vit bientôt que le jet d'eau ne continuait plus que par intermittences saccadées, signe de l'affaiblissement dans la tension du gaz, et que son écoulement avait eu lieu à travers une masse de baryte très-caverneuse. Frappé de cette singulière structure, M. Fournet en fit détacher des blocs avec soin, et reconnut qu'ils étaient altérés sur une certaine épaisseur, et même cariés à tel point, que la forme cristalline de la baryte sulfatée avait été mise à nu comme dans le moiré métallique, mais plus profondément, en sorte que le phénomène était du même ordre que celui signalé par Daniell, qui mit en évidence, à l'aide de divers dissolvans, la texture de divers corps compactes en apparence. L'action que les carbonates alcalins exercent sur le sulfate de baryte permet d'expliquer ce fait singulier. »

« Un second accident très-remarquable, continue
» M. Fournet, que m'offrirent ces échantillons, fut l'ac-
» tion dissolvante que ces mêmes eaux avaient exercée
» sur des fragmens de stéachiste empâté dans le sulfate
» de baryte; ils étaient en partie desagrégés, en partie
» cariés; quelquefois il n'en restait plus que les grains
» quartzeux et les lamelles talqueuses; enfin, d'autres
» ballottaient comme des noyaux libres dans leurs cap-
» sules, parce que l'érosion s'était, comme de coutume,
» exercée sur les surfaces (1). »

Il se passe aussi une foule de petites actions destructives sur des substances minérales et qui ont la plus grande analogie avec celles que nous venons de rapporter; mais il est une altération bien plus générale qui va nous occuper un instant; c'est la décomposition lente et graduelle des roches cristallisées.

Les granites, les gneiss, les micaschistes, les trachytes, les basaltes et presque toutes les roches qui ont la même origine que celles-ci, se disgrègent à la surface et se transforment en boules énormes ou très-petites. C'est à cette action, qui paraît s'être exercée de tout temps, que sont dus en partie les terrains de sédiment; car ici la décomposition est chimique et le dépôt de nouveaux terrains est une action toute mécanique.

Cette décomposition des roches attaque plus particulièrement le granite et le basalte, quoique aucune espèce n'en soit exceptée. Elle se manifeste principalement aux points de jonction des terrains, et semble favorisée par le voisinage de certaines causes locales, comme la présence de cônes volcaniques, etc. La nature de la

(1) Fournet, Mémoire sur la décomposition des minerais d'origine ignée, etc. *Annales de Chimie et de Physique*, mars 1834.

roche a aussi une grande influence sur l'intensité de cette disgrégation. On voit des roches qui résistent indéfiniment et d'autres qui cèdent après quelques mois d'exposition à l'air.

Il y a des contrées tout entières qui sont couvertes de sables provenant de la destruction des granites. Cet effet se manifeste surtout dans la Bourgogne, où M. de Bonnard l'a très-bien observé.

« Assez souvent, dit-il, à la surface du sol granitique,
» la roche se montre entièrement désagrégée et à l'état
» sableux ; on la désigne alors sous le nom d'*arène*, et
» on l'exploite pour l'employer à tous les usages du sa-
» ble. Dans un grand nombre de localités, on ne sait
» si l'on doit regarder cette arène comme un granite
» altéré par les influences atmostphériques, ou comme
» une roche vraiment arénacée ; mais en plusieurs en-
» droits, on peut observer des passages du granite à
» l'arène (1). »

L'Auvergne et la Haute-Loire présentent les mêmes caractères, au point qu'en certains lieux la disgrégation de cette roche a donné naissance à des couches d'argiles fortement colorées, et reposant immédiatement sur les granites auxquels elles passent par nuances insensibles. Si les roches qui se décomposent sont situées sur des pentes considérables, il arrive souvent qu'une altération plus profonde d'un côté que d'un autre en change le centre de gravité, et l'éboulement a lieu. Les hautes chaînes, composées de roches cristallisées, offrent fréquemment des exemples de ces éboulemens. De Saussure en fait souvent la remarque.

---

(1) De Bonnard, *Notice géognostique sur quelques parties de la Bourgogne*, p. 11.

« Tous ceux, dit-il, qui ont observé les montagnes
» (granitoïdes ou schisteuses), ont remarqué qu'elles
» étaient dans une continulle dégradation, mais au col
» du Géant (dans les Alpes), cette vérité s'annonce
» avec une fréquence et un fracas qui l'inculque à
» l'esprit avec la plus grande force. Je n'exagère pas,
» quand je dirai que nous ne passions pas une heure
» sans voir ou entendre quelqu'avalanche de roches
» qui se précipitait avec le bruit du tonnerre, soit des
» flancs du Mont-Blanc, soit de l'aiguille marbrée,
» soit de l'arête où nous étions. »

Les érosions sont bien pour quelque chose dans les éboulemens dont parle de Saussure, mais la décomposition des roches en est la principale cause.

Dans d'autres endroits, le même auteur cite des granites indestructibles dont les arêtes ont conservé toute leur vivacité. En effet, si l'on observe avec soin les granites, on voit qu'ils sont souvent composés de masses arrondies et presqu'inattaquables, enchâssées dans un autre granite qui semble faire corps avec le premier, mais qui se décompose avec la plus grande facilité, en sorte qu'il résulte d'une longue altération des amas de boules quelquefois colossales qui restent amoncelées.

Cette disposition paraît générale; on la voit dans plusieurs parties de la France, en Espagne, en Silésie, en Franconie, etc.; on la retrouve en Amérique dans plusieurs endroits, et M. de Humbold cite principalement les blocs qu'il observa aux cataractes de Maypurès, et ceux qu'il rencontra sur les bords de l'Orénoque, près de la caverne sépulcrale d'Ataruïpe.

« Une arête étroite nous conduisit vers une montagne
» voisine, dont le sommet arrondi supportait d'énor-
» mes blocs de granite. Ces masses ont plus de 40 à 50
» pieds de diamètre, et présentent une forme si parfai-

» tement sphérique, que, paraissant ne toucher au sol
» que par un petit nombre de points, on doit supposer
» qu'à la moindre secousse d'un tremblement de terre,
» elles rouleraient dans l'abîme. Je ne me souviens
» pas d'avoir vu ailleurs un phénomène semblable, au
» milieu des décompositions qu'offrent les terrains
» granitiques. Si les boules reposaient sur une roche
» de nature différente, comme c'est le cas des blocs
» du Jura, on pourrait supposer qu'elles ont été arron-
» dies par l'action des eaux, ou lancées par la force
» d'un fluide élastique; mais leur position sur le som-
» met d'une colline également granitique, rend plus
» probable qu'elles doivent leur origine à une décom-
» position progressive de la roche (1). »

Si quelques-unes de ces masses de granite ne semblent plus susceptibles d'altérations, il en est d'autres qui diminuent de volume, jusqu'à ce qu'elles soient entièrement anéanties. Telles sont celles que M. Leplay a observées en Espagne.

« Les collines de Malpartida (*fig.* XV) sont recouvertes d'une prodigieuse quantité de blocs arrondis, les uns posés simplement sur le sable granitique, les autres enfouis en partie dans le sol avec lequel ils semblent n'avoir aucune adhérence. Ce phénomène a établi dans la contrée l'opinion singulière que ces blocs, dont quelques-uns ont une grosseur énorme, ont été ainsi placés par la main de l'homme. Cette disposition du granite est un point tellement saillant dans la physionomie générale de la contrée, que le géologue, moins porté que l'observateur ordinaire à expliquer ces sor-

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 262.

tes de phénomènes par une pareille intervention, pourrait au premier aperçu y voir le résultat d'un transport violent par l'action des eaux : dans cette manière de voir, le sable gratinique et les blocs qu'il supporte seraient regardés comme un terrain de transport. »

« Dans un examen plus attentif de l'état des choses, on reconnaît bientôt, par de nombreux passages, les moyens par lesquels la nature a opéré : il est aisé de voir que la surface primitive du sol était pour ainsi dire hérissée d'aspérités granitiques plus ou moins fissurées, et en général adhérentes à la masse inférieure; l'action continuelle exercée par les agens atmosphériques sur la surface de ces roches, a seule produit le changement qui existe aujourd'hui. Il est en effet dans la nature de cette action d'attaquer principalement les arêtes vives, les pointes les plus saillantes, et naturellement aussi les parties qui par leur composition minéralogique présentent le moins de résistance. Il résulte de là que la désagrégation doit avoir lieu par couches concentriques, d'abord parallèles à la surface primitive, et qui, perdant peu à peu les formes anguleuses, tendent constamment à devenir parallèles à la surface des noyaux de plus grande résistance (1). »

Après les granites, ce sont les basaltes qui affectent le plus souvent une forme globuleuse, et qui se délitent le plus facilement par couches concentriques. Toutes les contrées volcaniques en offrent des exemples. Ces boules sont formées par des couches superposées, et varient depuis la grosseur d'un pois jusqu'à plusieurs centaines de pieds. On voit en Auvergne, près de Humes-l'Eglise, une boule qui a 5 mètres de diamètre; mais l'exemple

(1) Leplay, *Annales des Mines*, ch. VI, p. 329.

le plus curieux est celui que M. Raynaud a observé sur le bord du Rhin, près de Bonn. La montagne basaltique de Langenberg (*fig.* XVI) n'est elle-même qu'un fragment d'une boule immense de basalte très-dur et résistant qui se délite concentriquement par rapport à un noyau globuleux que l'on voit dans une carrière située près d'Ober-Cassel. La carrière offre ce noyau avec toutes ses enveloppes, sur une hauteur de plus de 100 pieds, et au-dessus et au-dessous, dans la montagne, et latéralement, à de grandes distances, on voit les strates du basalte présenter la même connexion autour d'un centre commun. Sa courbe n'est pas celle d'une sphère, mais d'un ellipsoïde aplati (1).

Le même auteur cite un autre exemple de décomposition du basalte, qui offre aussi beaucoup d'intérêt; c'est la description d'une grotte située aux environs de Bertrich.

« Le basalte forme au milieu du *Thonschiefer* des filons de 30 à 40 pieds d'épaisseur; il est compacte, non celluleux. Il ne présente dans sa nature interne aucune particularité saillante; mais la manière singulière dont il a été décomposé et modifié dans sa forme extérieure, mérite d'attirer l'attention. Près de la grande cascade du Jardin, on trouve une grotte (*fig.* XVII) nommée *Kasegrotte* (*la grotte des fromages*), qui est fort célèbre dans le pays par la bizarrerie de sa forme et par la légende qui lui sert d'histoire. Cette grotte est taillée, ou plutôt détachée à bras d'homme dans l'intérieur d'un filon de basalte, et s'ouvre, d'un côté, sur le torrent qui se précipite dans les rochers. Son intérieur consiste en une

---

(1) JEAN REYNAUD, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, *Annales des Mines*, 3ᵉ série, t. II, p. 372.

galerie bien alignée et bien régulière, formée de colonnes qui, au premier aspect, ont quelque analogie avec certaines colonnes torses de l'architecture de la renaissance. Ces colonnes sont composées de boules de basalte de 0^m, 40 de diamètre, un peu aplaties et posées d'aplomb les unes au-dessus des autres. La ressemblance générale qui en résulte avec un magasin de fromages régulièrement entassés, a valu à la grotte le nom rustique dont on l'a décorée. Cette décomposition de basalte, en boules rapprochées de telle façon que leur axe de révolution est toujours vertical et toujours aligné avec ceux qui le précèdent et avec ceux qui le suivent dans la même rangée, est digne d'exciter la surprise. Au voisinage de la ville, on voit un autre filon de basalte, dont l'étude éclaircit en partie la singularité de celui-ci. On voit alors, en quelque sorte, deux périodes dans le travail de décomposition qui a produit ces piliers si remarquables. D'abord, le basalte affecte la forme de prismes triangulaires, ou plutôt quadrangulaires, et c'est ainsi que se présente la masse vue à distance; mais en approchant, on aperçoit des fissures horizontales qui partagent tous ces prismes par portions à peu près égales. La décomposition de la roche se produit surtout au voisinage de ces fentes; la substance se désagrège, les angles s'émoussent, et la masse arrive à prendre une apparence qui se rapproche de celle de la Kasegrotte. Il paraît possible que le basalte, en ce dernier point, ait commencé de la même manière à se diviser en prismes verticaux, et que, plus tard, la décomposition se soit graduellement opérée autour des centres situés sur les axes. Il n'est peut-être pas sans intérêt de remarquer qu'à la Kasegrotte la partie supérieure du filon, placée au-dessus des eaux du torrent, ne présente rien de semblable dans sa décom-

position et n'est pas même fissurée en prismes (1). »

Indépendamment de cette désagrégation en boules, les basaltes présentent souvent des altérations sur les angles des prismes, quand ils affectent ce genre de configuration. Les trachytes ont souvent aussi les angles des prismes émoussés, mais bien plus rarement que les basaltes. Ils offrent une structure de disgrégation globuleuse. Mais les amphibolites, si voisins des basaltes, prennent aussi la forme sphérique. M. d'Aubuisson en a vu un exemple assez singulier en Bretagne, à 3 ou 4 lieues au nord de Poullaouen; le sol y semble pavé de petites boules de roche à base d'amphibole, ayant 3 ou 4 pouces de diamètre. Un examen attentif lui a démontré qu'il marchait sur la roche en place, et que c'était la désagrégation qui, en pénétrant par les fissures, l'avait ainsi divisée et façonnée (2).

Les phonolites, les obsidiennes, les roches les plus compactes en apparence sont toutes plus ou moins soumises à ce genre de décomposition; mais il ne faudrait pas croire que ces roches changent toujours de forme en se décomposant. On en voit qui sont altérées jusqu'au centre, et chez lesquelles aucun caractère de forme extérieure n'annonce la décomposition. Le fer spathique ou carbonaté est dans le même cas; il conserve sa forme et se change en fer hydraté.

Voyons maintenant comment s'opèrent ces singulières décompositions, et examinons d'abord la marche du phénomène. Nous suivrons dans cet examen le beau

---

(1) JEAN REYNAUD, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin. *Annales des Mines*, 3e série, t. II, p. 389.

(2) FOURNET, *Annales de chimie et de physique*, mars 1834, p. 234.

travail de M. Fournet sur la décomposition des roches et la formation du kaolin.

Si l'on observe, dit ce savant professeur, les grandes masses de granite non fissurées, depuis la surface du sol jusqu'à ce qu'on arrive, à l'aide de tranchées, aux parties intactes, on remarque les diverses zônes suivantes :

1° Zône supérieure, absolument semblable à une argile de couleur jaune ou rouge due à la formation de l'hydrate de peroxide de fer; quand on en détruit de grandes masses, elles donnent souvent lieu à des efflorescences salines qui prouvent que l'alcali contenu dans le feldspath et dans le mica a été mis en liberté.

2° Zône moyenne, de couleur verte très-prononcée, provenant d'un degré intermédiaire d'oxidation de fer.

3° Zône inférieure, offrant tous les caractères d'un granite intact en apparence, mais se désagrégeant complètement par le froissement ou le choc du marteau. Une partie des cristaux de feldspath a conservé sa forme, et l'autre est tout-à-fait désagrégée et opacifiée.

4° Enfin, en dessous, on trouve le granite solide et inaltéré.

Quoique entièrement décomposée, la roche extérieure montre encore la position respective du quartz et du mica qui se trouvent entrelacés, comme dans le granite non altéré.

Les basaltes, les phonolites et les trachytes offrent rarement le même mode de décomposition que les granites. Lorsque les roches volcaniques éprouvent la décomposition, on les voit se parsemer d'une multitude de petites taches grises plus ou moins rapprochées et rayonnantes, dont l'état terreux tranche vivement sur le fond compacte du reste de la roche et empêche de les confondre avec des roches porphyroïdes. Après cette ma-

culation, et même pendant qu'elle a lieu, l'altération se manifeste encore par d'autres indices. La masse se divise par une multitude de fissures dirigées ordinairement suivant trois plans rectangulaires qui déterminent une division cuboïde, ou plutôt sphérique, par l'émoussement des angles; l'exfoliation par couches concentriques survient également après, en vertu d'une sorte de gonflement. Finalement, les couches détachées des basaltes tombent dans un état pulvérulent si complet, que l'on conçoit seulement alors l'action facile que les agens chimiques naturels peuvent exercer sur des roches qui étaient d'abord si compactes et si cohérentes.

Le fer, dans toutes ces décompositions, atteint toujours un plus haut degré d'oxidation. La couleur grise de la masse terreuse, résultant d'une division extrême de la roche, qui possédait primitivement une couleur foncée, passe à une teinte jaune ou rouge si intense, que dans les pays où ce genre d'altération est commun, en Auvergne, par exemple, on distingue de loin les terres végétales laviques, dites fromentales, à cause de leur fertilité, de celles provenant de l'altération des schistes et des gneiss, qui sont bien moins ferrugineuses et moins productives.

Il arrive aussi au granite, lorsqu'il présente une structure qui le divise d'abord en parallélipipèdes plus ou moins volumineux, de se décomposer sur les angles et de s'altérer ensuite à la manière des basaltes. On remarque souvent des altérations de ce genre sur des granites employés dans des constructions.

Il semble bien difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, d'expliquer cette tendance à la décomposition que nous présentent presque toutes les roches cristallisées. L'action de l'air et celle de l'eau sont des circonstances qui la favorisent évidemment. Il est bien

probable que la température et la pression ont aussi une influence marquée sur ce changement d'état, mais tout cela n'explique pas la cause particulière de cette dégradation continuelle.

Toutes les roches qui se décomposent si facilement renferment du feldspath, et il paraît que c'est la décomposition de ce minéral qui occasionne l'exfoliation des parties qui le contiennent; la chose paraît du moins prouvée pour les granits qui se transforment en kaolin. Le feldspath renfermant de la potasse, on en a conclu que l'eau entraînait peu à peu cette matière, et que c'était la cause première de l'altération. Il est bien vrai que la potasse, la soude et les autres bases qui sont combinées à la silice dans le feldspath, peuvent se dissoudre dans l'eau, mais il est douteux que cette tendance à se dissoudre dans ce liquide puisse déterminer le commencement de la décomposition; car on l'observe non-seulement dans les roches, mais dans les produits que nous fabriquons. Ainsi, le verre antique que nous trouvons enfoui depuis long-temps, a presque toujours éprouvé un commencement d'altération à l'extérieur, et la lumière, partie décomposée et partie réfléchie, lui donne les couleurs de l'Iris.

Il faut qu'indépendamment de l'action exercée par les agens extérieurs, il y ait dans certaines roches cristallisées une tendance particulière à la décomposition, tendance que l'on ne peut expliquer qu'en admettant une sorte de tension particulière dans leurs parties constituantes, lorsquelles se sont solidifiées. M. Fournet attribue cet état à des variations survenues pendant le refroidissement, et le compare indirectement au phénomène de la trempe qui modifie si fortement l'état des métaux, ou de la recuite qui imprime aux verres et aux poteries des caractères tout-à-fait différens.

Il semblerait plus naturel d'admettre, comme Werner le supposait, que pendant la solidification des roches, il s'est établi un certain nombre de centres d'attraction autour desquels les parties constituantes se sont disposées. Cette opinion rend parfaitement compte de la formation des boules de granite qui ne s'altèrent plus lorsque la décomposition a acquis une certaine profondeur, et explique aussi la présence de cette énorme boule de basalte décrite par M. Reynauld, tandis qu'il est bien difficile de concevoir autrement sa formation. Telle paraît être l'origine d'un grand nombre de blocs arrondis qui primitivement étaient empâtés dans une roche semblable, qui s'est peu à peu décomposée et dont les eaux ont emporté les débris. Il faudrait se garder de considérer l'opinion de Werner comme pouvant s'appliquer à tous les cas de décomposition; car, dans un grand nombre de circonstances, le délitement des roches a lieu parallèlement aux surfaces, quelle que soit la forme artificielle que le ciseau ait imprimée aux blocs. C'est ainsi qu'en Egypte, selon M. Rozière, des colonnes en granite de Sienne se délitaient en couches concentriques à leur axe. Il y a d'ailleurs des roches granitiques qui se délitent en entier une fois qu'elles sont sorties des carrières.

M. Fournet regarde aussi l'action de l'eau chargée d'acide carbonique comme ayant une grande puissance d'action et comme agissant encore à des profondeurs variables, dans la décomposition des roches feldspatiques et autres.

On remarque une grande différence dans le temps que mettent certaines roches à se décomposer; mais, en général, cette action est très-lente. Ainsi, M. Becquerel fait observer que la cathédrale de Limoges a été construite, il y a environ quatre siècles, avec un granite qui a dû être extrait des environs. Dans l'intérieur de

cet édifice, l'altération de la roche est à peine sensible, surtout dans les parties qui n'ont pas été exposées à l'humidité; mais au dehors, et principalement sur la face exposée aux vents qui amènent la pluie, la désagrégation est très-apparente, et offre une profondeur moyenne de 3 lignes et demie environ. Cette décomposition est, comme on le voit, extrêmement lente, mais enfin elle est sensible. M. Becquerel a remarqué, dans une carrière peu éloignée de la ville, que la croûte de granite décomposé avait environ 5 pieds, ou 720 lignes; en comparant ce nombre, et en supposant la marche de la décomposition égale à toutes les époques, cette carrière accuserait le long espace de 82,000 ans depuis la création du granite dans lequel elle est creusée (1). Le célèbre physicien, auquel nous empruntons ces lignes, observe très-bien lui-même que cette date doit être fausse, puisqu'on ne connaît pas la marche de la décomposition du granite en masse; mais ce calcul n'en offre pas moins un résultat fort curieux.

Nous ne savons pas quelle a dû être autrefois la puissance de ces actions chimiques et peut-être électriques qui altèrent aujourd'hui presque toutes les roches cristallisées. Cependant, si nous examinons la masse énorme des terrains de sédiment, l'abondance des couches de grès que l'on y rencontre, et si nous comparons les forces qui ont créé ces terrains à celles qui produisent aujourd'hui nos petits dépôts d'alluvion, nous resterons convaincus que la décomposition des roches cristallisées était bien plus grande autrefois que de nos jours, puisque d'immenses bassins sont remplis de leurs débris.

---

(1) Becquerel, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. I, p. 526.

Cette idée prendra plus de fondement, si nous supposons une chaleur plus grande, une plus grande masse de vapeurs dans l'atmosphère, et peut-être une pression atmosphérique plus considérable. Ces considérations nous conduiraient à admettre que plusieurs de nos chaînes de montagnes ne sont que les parties dures de masses plus élevées, des portions solides d'abord enchâssées dans des roches plus tendres, et maintenant dégagées comme nos blocs de granite, et comme ces roches quartzeuzes que M. Leplay a reconnu en Espagne former le sommet des collines de l'Estramadure.

DES ACTIONS CHIMIQUES CRÉATRICES.

Il s'opère journellement dans le sein de la terre de nombreuses réactions chimiques ou électriques, que nous sommes loin de connaître, et il se forme ainsi des produits nouveaux extrêmement curieux à étudier. Presque toujours ce ne sont que de véritables transmutations qui ont lieu à de petites distances; mais, dans certains cas, la matière dissoute en un point, est transportée très-loin avant d'entrer dans de nouvelles combinaisons. Les circonstances qui concourent à ces créations d'origine récente, sont probablement les mêmes que celles qui ont présidé à des formations plus étendues; mais nous connaissons très-peu ce genre de phénomène. M. Becquerel a cependant jeté un grand jour sur ces réactions ; ce savant a ouvert aux géologues une voie toute nouvelle, et bien intéressante à parcourir. Nous allons examiner successivement les créations ou réactions actuelles.

Simples dépôts.

Les plus simples des créations chimiques consistent en quelques dépôts que forment les eaux qui ont dissous certaines matières. Ainsi l'on voit souvent des roches qui sont colorées au moins sur leurs fissures par des matières que les eaux avaient dissoutes et qu'elles ont ensuite entraînées dans ces masses. Les dissolutions de fer et de manganèse, sous divers degrés d'oxidation, sont celles qui ont presque toujours coloré les roches. Elles semblent s'être infiltrées partout, et elles ont souvent produit des cristallisations ou colorations particulières désignées sous le nom de dendrites, et qui étaient très-recherchées pour les cabinets des curieux. Certaines actions capillaires ont agi aussi dans le dépôt des dendrites. On voit quelquefois des roches dont la couleur ou les dendrites ne sont qu'extérieures. M. de Humboldt, a qui rien n'a échappé dans ses intéressans voyages, en rapporte plusieurs exemples :

« Dans les cataractes, et partout où l'Orénoque, entre les missions de Carichana et de Santa-Barbara, baigne périodiquement les rochers granitiques, ceux-ci sont lisses, noirs, et comme enduits de plombagine. La matière colorante ne pénètre pas dans la pierre, qui est un granite à gros grains renfermant quelques cristaux isolés d'amphibole. L'enduit noir a $\frac{3}{10}$ de ligne d'épaisseur; il se trouve de préférence sur les parties quartzeuses. Les cristaux de feldspath ont conservé quelquefois au dehors leur couleur blanc-rougeâtre, et s'élèvent au-dessus de la croûte noire. En cassant la roche avec le marteau, on trouve l'intérieur intact, blanc, sans trace de décomposition.

» Nous les avons vues, non-seulement dans le lit de l'Orénoque, mais sur quelques points, jusqu'à 500 toises

de distance du rivage actuel, à des hauteurs où les eaux ne parviennent plus aujourd'hui dans leurs grandes crues.

» Qu'est-ce que cette croûte noir-bleuâtre qui donne à ces rochers, lorsqu'ils ont la forme globuleuse, l'aspect de pierres météoriques ? comment doit-on concevoir cette action de l'eau qui produit un dépôt ou un changement de couleur si extraordinaine ? Remarquons d'abord que le phénomène n'appartient pas aux cataractes seules de l'Orénoque, mais qu'on le retrouve dans les deux hémisphères. Lorsqu'à son retour du Mexique, en 1807, M. de Humboldt montra les granites d'Aturès et Maypurès à M. Rozière, qui a parcouru la vallée d'Egypte, les côtes de la mer Rouge et le mont Sinaï, ce savant géologue lui fit voir que les roches primitives des petites cataractes de Syène offrent, comme les roches de l'Orénoque, une surface lustrée gris-noirâtre, presque plombée; dans quelques fragmens, on les dirait enduites de goudron. Récemment encore, dans la malheureuse expédition du capitaine Tuckey, des naturalistes anglais ont été frappés du même aspect dans les *Yellalas* (rapides et écueils) qui obstruent la rivière Congo ou Zaïre.

» Dans les deux roches, celle de l'Orénoque et d'Afrique, la croûte noire est composée, selon l'analyse de M. Children, d'oxide de fer et de manganèse. Il faut remarquer que tous ces phénomènes de coloration ne se sont offerts jusqu'à présent que sous la zône torride, dans des rivières qui ont des crues périodiques, dont la température moyenne est de 24 à 28 degrés centésimaux, et qui coulent, non sur des grès ou des roches calcaires, mais sur des granites (1). »

---

(1) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxial.*, t. VII, p. 24.

M. Berzelius, qui, à la prière de M. de Humboldt, a aussi analysé ces croûtes, y a reconnu, comme M. Children, la présence du fer et du manganèse.

Ce chimiste célèbre pense que les fleuves n'arrachent pas les oxides du sol sur lequel ils coulent, mais qu'ils les tirent de leurs sources souterraines et les déposent sur les roches, comme par cémentation, par un jeu d'affinités particulières, peut-être par l'action de la potasse du feldspath (1).

On voit encore sur les roches calcaires des colorations très-singulières qui proviennent de l'action de l'eau sur la partie extérieure des couches, et quelquefois aussi du transport de différentes matières dans leur tissu. Plusieurs roches sont aussi colorées en noir par le bitume ou les débris organiques. Enfin, les contrées volcaniques offrent souvent des roches à surfaces colorées, mais sur lesquelles la matière colorante a été déposée ou formée par sublimation.

L'eau pure peut aussi créer du gypse, en s'infiltrant dans des masses d'anydrite; et lorsqu'elle s'est chargée d'alun, de carbonate de soude et de plusieurs sels solubles, elle les dépose quelquefois, sous forme de croûtes légères, sur les roches abritées de la pluie.

On voit que ces petites créations ne sont rien si on les compare à la masse du globe; mais nous ignorons si ces mêmes facultés dissolvantes de l'eau n'ont pas été bien plus fortes lors du dépôt des terrains de sédiment. Il est probable du moins que ce liquide était chargé de différens principes qui, en lui donnant le pouvoir de se saturer d'un plus grand nombre de substances,

---

(1) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*; t. VII, p. 28.

lui permettaient par conséquent de déposer des produits plus variés et plus abondans.

Des stalactites ou des concrétions.

Les roches calcaires offrent aussi des traces d'altération comme celles qui sont cristallisées. On voit souvent, sur les bords de la mer, ces roches corrodées par les sels qu'entraînent la vapeur d'eau et par ce brouillard d'eau salée que produisent les vagues en venant heurter contre les falaises.

On remarque aussi des couches calcaires creusées de sillons assez profonds, percées de trous irréguliers, et comme dissoutes sur plusieurs points de leur surface. Il semble que des eaux acidules aient ruisselé sur leurs pentes, et les aient dissoutes en partie. Ce genre d'altération est d'autant plus facile à concevoir, que l'eau pure dissout déjà le carbonate de chaux; la pluie surtout l'attaque d'une manière sensible, et à plus forte raison, de l'eau chargée d'acide carbonique. La matière calcaire ainsi dissoute ne tarde pas à se déposer, et donne naissance à des concrétions plus ou moins cristallisées que l'on rencontre principalement dans les grottes où suintent ces eaux calcarifères.

Les eaux peuvent encore se charger d'autres matières, et les déposer sous les mêmes formes, c'est-à-dire avec une structure concrétionnée, comme l'albâtre. Ainsi, on rencontre des stalactites d'oxide de fer, connues sous le nom d'hématites, d'oxide de manganèse, d'oxide de zinc, de quartz, de malachite ou carbonate de cuivre; mais ce sont des raretés, si on les compare à celles qui sont calcaires, et que l'on trouve dans une foule de grottes.

Parmi les plus remarquables, on distingue les grottes d'Orselles, ou Auxelle, en Franche-Comté; d'Arcy-sur-Cure, près de Vermanton, en Bourgogne; de Caumont, près de Rouen; celle de la Balme, sur l'Arve, décrite par Saussure; celle de la Balme, sur le Rhône, au-dessus de Lyon; celle de Lombrives, dans le pays de Foix; celle de Bauman, dans le duché de Brunswick; la caverne de l'île de Minorque; le Pool's-Hols, dans le Derbyshire; la magnifique grotte d'Adelsberg en Carniole (1), et les célèbres cavernes d'Antiparos.

Ce sont toujours les mêmes phénomènes qui se reproduisent pendant la création des stalactites. L'eau calcarifère pénètre dans une cavité par les fissures de la roche; parvenue à l'extrêmité du canal qui l'a conduite, elle forme une goutte qui reste suspendue jusqu'à ce que son volume ayant augmenté, elle tombe par son propre poids. Pendant que la goutte est suspendue, les molécules de matières pierreuses dont elle est chargée, et qui sont le plus rapprochées du petit canal dont elle sort, s'y attachent sous la forme d'un petit cercle de matière solide; mais les parties qui en sont plus éloignées sont emportées dans la chute de la goutte, et tombent avec elle sur le sol de la grotte, s'y fixent et y forment une petite éminence, lorsque l'eau qui sert de véhicule a disparu par évaporation ou par absorption dans la roche qui compose le fond de la grotte. Ce léger exhaussement du sol, ainsi que le petit cercle resté sur les bords de l'orifice du plafond, serait à peine sensible, si ce n'était que le produit d'une seule goutte d'eau; mais comme les gouttes se succèdent assez rapi-

(1) Voyez la description détaillée de cette caverne dans la *Revue britannique*, juin 1830, p. 204.

dement, la masse des dépôts solides augmente peu à peu des deux côtés, et finit par former sur le sol un cône qui y tient par sa base, et au plafond un tuyau qui est une continuation du canal par lequel l'eau débouche quand elle arrive au plafond. Ce tuyau grossit à l'extérieur, parce qu'il reçoit l'eau d'autres canaux du plafond qui arrose le dehors du tuyau, et y dépose des couches de matières solides. Le cône s'élève par le haut, le tube s'allonge par le bas, et à la fin, les deux extrêmités, dont l'une s'élève tandis que l'autre s'abaisse, se joignent, se confondent, et forment une sorte de colonne dont les deux bouts sont éloignés, et touchent à la fois les parois inférieure et supérieure de la caverne.

Autrefois on attachait une grande importance aux formes de ces concrétions, et on donnait spécialement le nom de *stalactites* aux pointes qui descendaient dans la grotte, et l'on appelait *stalagmites* les dépôts concrétionnés qui s'élevaient à la surface du sol.

On peut juger par la marche de l'eau qui opère l'accroissement et la réunion du cône et du tuyau dont nous venons de parler, qu'ils sont tous deux composés de couches additionnelles, et que le cône surtout a la plus grande solidité; mais toutes les stalactites qui sont suspendues à la voûte des grottes n'ont pas un tuyau dans leur intérieur. Pour que ce tube puisse se former, il faut d'abord que l'orifice du canal qui est dans le rocher, et d'où sort la goutte d'eau, soit à peu près horizontal, afin que la goutte reste suspendue par tous les points de ses bords, et qu'elle y forme un cercle entier de matière stalactitique. Si, au contraire, l'orifice du canal est incliné, de telle sorte que la goutte ne tienne qu'à la partie inférieure des bords de l'orifice, les molécules de matière solide dont elle est chargée, ne

peuvent s'attacher qu'à cet endroit. Dans ce cas, la stalactite est solide, de même que celles qui sont formées par l'eau qui suinte des parois inclinées ou latérales cu- de la grotte. L'eau, en coulant le long de ces parois, et en descendant jusque sur le sol, laisse dans sa marche et dépose dans les parties inférieures plusieurs couches de matière solide les unes sur les autres. Il arrive aussi que le tuyau des stalactites du plafond s'emplit et s'obstrue complètement.

Ce que nous venons de dire doit faire présumer que des corps ainsi formés par l'eau, doivent présenter une grande variété dans leurs formes, variété qui est encore augmentée par l'irrégularité des contours des cavernes; aussi l'aspect d'une grotte revêtue de stalactites surprend toujours beaucoup ceux qui y pénètrent pour la première fois; ils rencontrent partout des formes extraordinaires et bizarres, parmi lesquelles ils trouvent de suite des ressemblances avec des objets connus. Aussi toutes les descriptions de grottes à stalactites contiennent des détails sur des pierres qui ont la forme de choux-fleurs et de champignons, de guirlandes ou de festons, de jeux d'orgues, de quadrupèdes, etc., et ces figures fantastiques donnent leur nom aux salles principales de ces labyrinthes souterrains. Mais quand on met de côté toute idée de merveilleux, on remarque dans toutes ces concrétions calcaires une grande ressemblance avec des chutes d'eau qui se seraient tout-à-coup congelées en se modelant sur les parois.

Ce que nous avons dit de la formation de la glace retrouve son application dans cette circonstance. Comme dans la glace, la surface des stalactites est tantôt lisse, et tantôt couverte d'aspérités qui ne sont que les pointemens d'un grand nombre de cristaux. Quand on les casse en travers, on leur trouve généralement une

structure rayonnée, et il arrive souvent que les couches dont elles sont formées sont séparées par des zônes colorées, qui démontrent qu'à des époques périodiques, des eaux ferrugineuses se sont mêlées à celles qui contenaient la matière calcaire.

Certaines cavernes ont été entièrement remplies par des concrétions calcaires, et on exploite maintenant plusieurs masses de ce genre, sous le nom d'*albâtre oriental*.

Des dépôts analogues aux stalactites se forment aussi dans les fentes des rochers, où ils contribuent à créer ces veines de couleurs différentes, que l'on observe dans quelques marbres. Ils remplissent aussi de petits filons, se concrétionnent d'abord sur les deux parois de la fente, et finissent par remplir l'intérieur. Quelquefois des fragmens de roches tombent dans ces fentes, ainsi que des ossemens, qui bientôt sont empâtés, et forment des espèces de brèches.

Il y a nécessairement dans ces créations des affinités particulières qui contribuent à favoriser le dépôt dans certains points et à l'éloigner sur d'autres. Il paraît même que, dans quelques circonstances, la présence de certains corps est nécessaire au développement des stalactites. Ainsi, c'est seulement dans les mines de fer spathique, mais non dans toutes, que l'on rencontre les stalactites cristallisées appelées *flos ferri*, dont la structure est vraiment singulière : ce sont des touffes de rameaux cylindriques qui atteignent quelquefois un pied de longueur, quoique leur diamètre ne dépasse guère 2 ou 3 lignes. Ces rameaux sont souvent géniculés ou dichotomés ; ils se croisent sans se confondre, et sont formés d'une infinité de petits cristaux d'arragonite, dont la base est au centre du tube et le pointement en dehors.

Des réactions chimiques et électro-chimiques.

Lorsqu'un corps liquide est en contact avec un ou plusieurs corps solides, il arrive de deux choses l'une : ou ces corps sont sans action les uns sur les autres, ou bien ils réagissent.

Nous ne sommes pas certains de la vérité de la première de ces propositions, car nous ne savons pas si nous mettons les corps qui nous semblent sans action dans les circonstances convenables pour que leur action se développe. C'est ainsi que nous placions dans la première de ces divisions plusieurs substances que M. Becquerel nous a appris réagir très-bien quand on les dispose convenablement. Il est vrai, dit ce savant chimiste, qu'on ne peut vérifier directement si les moyens qu'on emploie dans les laboratoires sont véritablement ceux dont la nature a fait usage dans la création des terrains de sédiment; mais si l'on peut arriver à prouver que les causes que l'on met en action se présentent dans la terre avec les mêmes circonstances, rien ne s'oppose alors à ce que l'on admette que les mêmes effets s'y produisent également.

Les affinités diverses qui sollicitent les corps à se réunir sont très-probablement des effets électriques dont nous ne connaissons pas la véritable valeur. Leur étude constitue l'électro-chimie, science toute nouvelle, dont la culture promet de riches moissons. L'électro-chimie, telle que la conçoit M. Becquerel, n'emploie que des corps à l'état naissant et des forces excessivement faibles, qui, produisant les molécules, pour ainsi dire, une à une, les disposent à prendre des formes régulières, même quand ils sont insolubles, parce que le nombre des molécules ne peut apporter

aucun trouble dans leur arrangement. Le temps est la grande puissance qui s'associe à l'électro-chimie et concourt à ses résultats. Ses effets ont lieu sans doute depuis le commencement du monde, et ils continuent de nos jours. Aussi, une grande partie des corps cristallisés qui se forment encore dans les filons et dans les terrains de sédiment, sont créés sous l'influence de cette force particulière.

« Toutes les fois qu'un corps réagit sur un autre, celui qui joue le rôle d'acide prend, comme on sait, l'électricité positive, et celui qui se comporte comme alcali, l'électricité négative. La recomposition de ces deux électricités est plus ou moins immédiate sur la surface même de contact, suivant la faculté conductrice des deux corps. Dans ce cas, il y a un simple rétablissement d'équilibre sans production de courant, attendu qu'il n'y a pas de déplacement des deux fluides; ou, s'il y a des courans, ils ont lieu dans toutes sortes de directions, et dès lors leurs actions se contrarient et se détruisent. Mais il n'en est plus de même lorsqu'ils communiquent avec un troisième corps suffisamment bon conducteur pour qu'une portion des deux électricités dégagée éprouve moins de difficulté à le suivre pour former du fluide neutre, qu'à se combiner sur la surface même de contact; alors il y a production d'un courant et d'effets électro-chimiques plus ou moins sensibles, dépendant de la nature des corps; l'un des corps au moins doit être liquide (1). »

On voit que certains corps, dans ces circonstances, agissent simplement par leur présence, qui détermine

---

(1) BECQUEREL, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. I, p. 538.

les combinaisons, par le plus ou moins d'aptitude qu'ils ont à conduire un courant électrique. M. Becquerel explique de cette manière la formation des cristaux de cuivre oxidulé, comme ceux que l'on trouve à Chessy, la réduction de certains métaux dans les mines, la création du phosphate de fer bleu au contact des matières organiques, la formation des cristaux insolubles de sous-nitrate, de sous-sulfate ou de sous-chlorure de cuivre, de malachite, de chrômate de plomb rouge, etc.

Nous ne nous attacherons pas à reproduire ici les procédés et les explications de M. Becquerel; on trouvera ces détails dans l'ouvrage si remarquable et si original qu'il a publié sur ce sujet; il nous suffit d'avoir fait remarquer qu'un grand nombre de cristaux entièrement insolubles ont été probablement formés par voie aqueuse, et que les forces qui les ont produits, actuellement très-faibles, peuvent avoir agi autrefois avec plus d'intensité, et que, dans tous les cas, il suffit d'accorder du temps à la nature pour expliquer un grand nombre de phénomènes.

Quant aux composés que nous créons tous les jours dans nos expériences de laboratoire, et par nos procédés ordinaires, nous devons penser que plusieurs d'entre eux se forment journellement dans la nature. Ainsi les pyrites de fer et de cuivre se transforment en sulfates; les bi-carbonates dissolvent différentes substances, ou produisent une foule de doubles décompositions; la silice, séparée, à l'état de gelée soluble, de plusieurs de ses combinaisons, peut être entraînée par les eaux de lavage et aller ailleurs former des cristaux de quartz, des hyalites et diverses concrétions qui se déposent de nos jours, peut-être même quelques silicates. Ce n'est pas dans un traité de cette nature que nous pouvons

énumérer toutes ces petites créations locales ; il nous suffit d'indiquer le mode suivant lequel la création s'opère : le reste appartient à la minéralogie et aux sciences chimiques.

Variations de formes dans les cristaux.

Nous avons dit tout à l'heure que la présence de certains corps, bien qu'ils n'entrassent pas dans les combinaisons, pouvaient cependant les favoriser. Nous allons voir encore ces *actions de présence* modifier la forme des cristaux.

La forme que nous offrent les substances minérales cristallisées est, comme on le sait, extrêmement variable ; car, pour citer un seul exemple, la chaux carbonatée peut offrir au moins 400 modifications différentes. Malgré tous ces caractères secondaires, il n'existe qu'une ou deux formes fondamentales pour la chaux carbonatée ; *mais quelles sont alors les causes qui sollicitent une même substance minérale à affecter des formes cristallines si variées ? et pourquoi, dans un cas, tel corps affecte-t-il une certaine forme plutôt que telle autre parmi celles qu'il est susceptible de prendre ?* Telles sont les questions que M. Beudant s'était proposé de résoudre, questions graves dont on ne s'était nullement occupé avant lui, et qu'il a traitées avec un rare talent. Ce que nous allons dire sur cet objet est, en grande partie, extrait du travail de ce savant minéralogiste (1).

Les diverses formes cristallines d'une même subs-

---

(1) *Annales des Mines*, 1818, 2e et 3e livraisons, et *Traité élémentaire de Minéralogie.*

tance ne se montrent pas indistinctement dans tous les gisemens; la nature n'a pas opéré au hasard. On remarque, au contraire souvent, que des formes cristallines sont semblables lorsqu'elles se trouvent dans des gisemens et des circonstances analogues, tandis qu'elles sont différentes dans des circonstances opposées.

Ainsi la chaux carbonatée en prisme hexaèdre provient de quelques mines du hartz, où on la trouve dans des filons qui traversent des schistes argileux et où ils sont accompagnés d'argent antimonié sulfuré, d'antimoine sulfuré, d'arsenic natif, etc. Les variétés qu'Hauy a nommées *métastatique* et *bisalterne* nous viennent, en grande partie, du Derbyshire, où elles se trouvent dans des filons qui traversent un calcaire coquillier, et où elles sont accompagnées de zinc sulfuré, de chaux fluatée et souvent de bitume. La variété en *rhomboïde inverse* se rencontre dans des terrains de sédiment et principalement dans l'intérieur des coquilles qu'ils renferment.

L'*arragonite*, qui vient d'Espagne et des Pyrénées, et qui existe empâtée dans des masses argileuses, mélangées de chaux sulfatée, diffère par sa forme de celle que contiennent les terrains volcaniques; et les cristaux de cette même substance que l'on rencontre dans les minerais de fer, ceux de Saltzbourg, qui sont accompagnés de baryte sulfatée et de chaux carbonatée ordinaire, ont aussi des caractères particuliers.

Des différences aussi notables existent entre la cristallisation de la chaux phosphatée de Bohême, de Saxe, du St-Gothard, et celle de Norvège et du cap de Gates.

Dans le pyroxène, les cristaux de Norvège qui se trouvent avec du fer oxidulé, ceux de la vallée d'Ala

en Piémont, qui font partie d'une roche particulière de grenat; ceux du Tyrol, empâtés dans la chaux carbonatée laminaire, sont tous très-distincts par leurs formes, puisqu'aucune n'a été observée parmi les pyroxènes des terrains volcaniques.

L'amphibole, le feldspath, le fer oligiste offrent des différences aussi notables.

Quand des cristaux de forme différente se rencontrent dans la même création, chaque forme est presque toujours circonscrite dans un espace particulier. Et, d'un autre côté, si l'on trouve des cristaux très-différens de la même substance réunis sur le même groupe, et qui, par conséquent, se sont bien formés dans le même gisement, on reconnaît que ces cristaux, loin d'être mêlés au hasard, se montrent successivement, et qu'ils proviennent de divers dépôts qui se sont formés à des époques différentes. Ils se distinguent d'ailleurs par leur couleur ou par leur degré de transparence, en sorte que l'on doit supposer que les diverses époques de leur formation étaient accompagnées de circonstances particulières. C'est aussi ce qui paraît avoir lieu pour certains cristaux qui, après avoir affecté une forme déterminée, sont passés à une forme différente par une suraddition de matière de même nature sur quelques-unes de leurs parties. Le degré de transparence ou la couleur particulière de la couleur additive annoncent clairement que les circonstances environnantes étaient différentes aux diverses époques de l'accroissement de ces cristaux.

D'un autre côté, les mêmes circonstances de gisement, c'est-à-dire la même position et la présence des mêmes minéraux accompagnant, produisent des formes analogues, bien que les lieux de gisement soient séparés par des espaces considérables. Ainsi partout,

dans les masses argileuses mélangées de chaux sulfatée, dans l'Arragon, dans le Béarn, ou dans les Landes, l'arragonite présente les mêmes variétés de formes et les mêmes groupemens, tandis que, dans les minerais de fer, soit en France, soit en Carinthie, les cristaux de cette substance, d'ailleurs bien distincts des premiers, présentent assez constamment les mêmes formes dominantes. Dans les terrains volcaniques, l'arragonite est encore partout la même.

Le terrain d'Arandal en Norvège, et celui de Traverselle en Piémont, semblables sous plusieurs rapports, présentent des cristaux de pyroxène qui ont entre eux la plus grande analogie.

Les terrains volcaniques, qui sur tous les points du globe ont les plus grands rapports, offrent presque partout les mêmes variétés de pyroxène et d'amphibole.

Les porphyres, les terrains chloriteux, qui renferment chacun des cristaux différens de feldspath, en présentent partout aussi les mêmes variétés.

Les granites, qui se trouvent dans des contrées si différentes, contiennent des cristaux de feldspath qui ont presque toujours la même forme et qui sont maclés de la même manière.

Ces importantes considérations, développées par M. Beudant, l'ont conduit à une série d'expériences qui lui ont en partie dévoilé les lois accessoires de la cristallisation, et dont nous allons indiquer sommairement les principaux résultats. Il a reconnu trois causes principales de variations, dont chacune peut agir isolément, et donne alors constamment une forme particulière, ou bien conjointement avec une ou plusieurs autres, d'où paraît résulter cette multitude de formes qu'une même espèce de sels est susceptible de prendre. Ces trois causes sont :

1° Les mélanges mécaniques de matières étrangères qu'un sel peut entraîner dans sa cristallisation;

2° La nature du liquide au milieu duquel se forment les cristaux d'une substance, nature qui peut varier par les matières solides, liquides ou gazeuses tenues en solution, et qui ne sont pas susceptibles de se combiner avec celle qui cristallise;

3° La combinaison, en proportions variables, de telle ou telle substance avec celle qui cristallise.

Influence des mélanges mécaniques. — Quand les matières étrangères sont en suspension pendant la cristallisation, elles se déposent par zônes concentriques dans l'intérieur du cristal dans l'intervalle de ses divers accroissemens; mais si le sel cristallise au milieu même du dépôt, les cristaux en entraînent une petite portion, et sont toujours alors d'une forme plus simple et plus régulière que celle qu'ils auraient prise naturellement en se formant en liberté. Les cristaux qui naturellement ont empâté ainsi des substances étrangères, sont toujours plus simples que les autres : tels sont ceux d'axinite, de feldspath, etc., qui sont remplis de particules de mica, et qui sont plus simples que les cristaux purs que l'on trouve à côté sur le même groupe.

Influence de la nature du liquide. — Le liquide dans lequel s'opère la cristallisation, a nécessairement une action marquée sur la forme des cristaux. M. Beudant l'a démontré par un grand nombre d'expériences, et notamment en ajoutant ou en retranchant une petite portion de l'acide des sels. En ajoutant un peu d'acide à une solution de sulfate de fer, on obtient des formes plus compliquées. Comme il est rare que dans des filons ou dans des cavités quelconques des cristaux se trouvent seuls, on doit attribuer à cette cause la plus grande

partie des variations de formes dans les cristaux naturels. Tels sont les exemples que nous avons cités relativement au carbonate de chaux, à l'arragonite, etc.

Influence des matières qui se combinent. — Les matières qui peuvent se combiner changent la forme des cristaux, tantôt en les rendant plus simples, tantôt, au contraire, en leur procurant des facettes additionnelles; mais les formes dues à cette cause sont constantes si les proportions et les autres circonstances accessoires restent les mêmes. C'est sans doute à des combinaisons de ce genre que sont dues les formes variées des nombreux silicates qui existent dans la nature.

En appliquant ces trois causes de variations aux substances qui existent dans les roches, M. Beudant explique le changement de forme qu'un même cristal peut offrir à différentes époques de son accroissement, et les superpositions de cristaux sur le même échantillon. Il suffit d'admettre que la dissolution a changé de nature, ce qui a dû arriver souvent.

La présence d'un dépôt épais dans lequel la cristallisation s'opère, produit toujours ou des cristaux isolés ou des boules de cristaux. C'est en effet ce que l'on observe souvent, car c'est dans les argiles et les marnes que se rencontrent presque toujours les beaux cristaux isolés de gypse, de chaux carbonatée, de fer sulfuré, etc., ou bien les boules de pyrite, de strontiane fibreuse, de gypse, etc. Il s'établit alors des centres d'attraction qui donnent naissance à des cristaux et quelquefois à des masses globuleuses ou aplaties, qui ne sont pas cristallisées. Ainsi les ménilites se solidifient en boules ou en masses irrégulières au milieu de la chaux carbonatée pâteuse. Les silex se séparent de même en bancs verticaux et en rognons distincts dans presque tous les ter-

rains de craie, au lieu de rester mélangés à la masse, comme dans les calcaires siliceux.

C'est en étudiant, comme l'a fait M. Beudant avec un soin scrupuleux, toutes les petites actions d'affinité auxquelles la matière est soumise, que nous pourrons peut-être par la suite pénétrer une partie du mystère qui voile encore toutes les créations des deux règnes.

De la nitrification.

On rencontre dans l'Inde, dans l'Amérique, en Egypte et même sur quelques parties de l'Europe méridionale, des plaines qui se couvrent d'efflorescences pendant les chaleurs, et qui chaque année reproduisent le même phénomène. Ce sont des nitrates, et notamment ceux de potasse, de chaux et de magnésie, qui se développent en si grande quantité. On recueille, pour les besoins du commerce, beaucoup de ces sels, et, chaque année, la même quantité vient s'effleurir.

Nous voyons aussi le salpêtre se former dans nos appartemens, dans tous les lieux humides, dans les caves, etc. On l'a rencontré en abondance dans l'île de Ceylan. Il y a dans cette île vingt-deux cavernes d'où l'on extrait le nitre. Les principales sont celles de Mémoora, de Boulat-Welgoddi et d'Ouva.

M. Fournet a aussi observé des houppes soyeuses de salpêtre sur les laves de Chalusset, en Auvergne. M. Gaultier de Claubry, dans son travail sur les calcaires nitrifiables du bassin de Paris, cite particulièrement ceux de la Roche-Guyon. Le calcaire qui se nitrifie dans cette localité est une craie très-poreuse, dont les couches sont coupées à pic et exposées au midi à l'action directe des rayons solaires. Les parties qui sont au nord n'en fournissent que très-peu. Le salpêtre se dépose

particulièrement sur les arêtes des entailles faites avec la hache des exploitans et sur les bords des silex. La nitrification cesse là où il se trouve de petites couches de calcaire grossier. L'action est rapide, car on gratte la surface des couches qui se forment journellement, plusieurs fois par an. La nitrification est abondante dans les saisons chaudes et humides; elle l'est moins dans les saisons chaudes et sèches, et encore moins dans les saisons froides et humides (1).

On ne peut disconvenir que dans ces différens exemples le nitre ne se forme journellement et successivement; car il est impossible d'admettre qu'il sorte ainsi, depuis des siècles, des couches intérieures du globe. On sait, d'ailleurs, qu'on peut le former artificiellement, comme cela se pratique depuis long-temps en Prusse et en Suède.

On a remarqué que les matières ou simplement les émanations animales favorisaient beaucoup sa formation. Aussi, dans nos maisons, c'est dans les lieux humides et long-temps habités par les hommes et les animaux qu'il se dépose de préférence. Mais on ne peut admettre une telle supposition ni pour le salpêtre de l'Inde, ni pour ceux de Ceylan, pas plus que pour ceux de Roche-Guyon et de Chalusset. On pense avec raison que la potasse peut être contenue dans le sol, puisque presque partout les roches renferment du feldspath qui, par sa décomposition, peut en fournir; mais l'acide nitrique ne peut provenir que de l'atmosphère ou de matières animales. Plusieurs chimistes regardent ces dernières comme indispensables à la forma-

---

(1) Gaultier de Claubry, *Annales de chimie et de physique*, t. LII, p. 24.

tion du nitre; d'autres assurent que l'atmosphère seule produit l'acide nitrique qui se combine à la base. Il faut, dans tous les cas, le contact d'une roche poreuse qui sert en quelque sorte de support à l'opération, et qui recevant dans ses pores la potasse et l'acide nitrique, ou du moins les élémens qui les composent, permette à ces corps de se combiner dans son tissu. Probablement aussi la roche poreuse agit en favorisant quelque action électro-chimique et peut-être la création de l'acide nitrique. Que l'on assure que les matières animales concourent puissamment à la nitrification, personne ne soutiendra une thèse contraire; mais tout démontre que leur présence n'est pas indispensable, et que, dans certains cas, leur contact est même impossible.

Comment supposer, par exemple, qu'à la Roche-Guyon, la craie puisse recevoir assez d'émanations animales pour entretenir cette fabrication continuelle de salpêtre? Comment surtout concevoir l'efflorescence des ces grandes plaines des contrées méridionales? On pourrait plutôt admettre la coopération de ces matières organiques, quand le salpêtre se produit dans des cavernes, comme à l'île de Ceylan; mais sir John Davy, qui les a visitées, émet précisément une opinion contraire.

« Les roches dans lesquelles elles sont creusées contiennent toujours au moins du carbonate de chaux et du feldspath. La décomposition de celui-ci fournit la base; et le carbonate, en exerçant sur l'oxigène et l'azote de l'atmosphère une action particulière, mais dont jusqu'ici on n'a pas du tout compris la nature, donne naissance à l'acide. La présence simultanée de l'air atmosphérique, de la chaux et d'un minéral alcalin, est absolument nécessaire à la production du salpêtre. Cette production est singulièrement favorisée par l'existence d'un peu d'humidité et celle d'une petite quantité de matières ani-

males ; mais ces deux dernières circonstances ne sont pas indispensables (1). »

M. Fournet, dont toutes les observations ont été faites avec un jugement remarquable, a proposé une théorie de la nitrification qui semble s'accorder très-bien avec les procédés qu'emploie la nature dans cette mystérieuse opération. Il croit aussi que l'acide nitrique peut être produit sans le concours de matières organiques, par la seule réaction des élémens de l'air et de la vapeur d'eau. Il rappelle les travaux de M. de Saussure qui constatent que l'oxigène est plus condensé par les corps poreux que l'azote, dans le rapport de 6, 50 à 4, 02 ; et ceux de MM. de Humboldt et Gay-Lussac, qui ont observé que l'air dégagé de l'eau par l'ébullition contient d'autant plus d'oxigène, que les diverses fractions de ce gaz ont été recueillies plus tard. Il en résulte que l'oxigène est non-seulement retenu avec une grande force, mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que la composition des dernières parties du gaz approche beaucoup de celle du protoxide d'azote. M. Fournet en a conclu qu'il pourrait se faire que les actions réunies des corps poreux et de l'eau sur les élémens de l'air, produisissent d'abord du protoxide d'azote, puis du nitrate d'ammoniaque, attendu que l'on sait que ce dernier sel se décompose en protoxide d'azote et en vapeur d'eau. Ce nitrate, une fois formé, réagit sur les carbonates alcalins, leur cède son acide, et se change en nitrate de potasse, tandis que l'ammoniaque se combine avec l'acide carbonique et se dégage.

M. Fournet appuie sa théorie sur le fait bien connu qu'une étincelle électrique, en traversant l'air, forme

(1) Sir JOHN DAVY, *Annales de Chimie*, t. XXV, p. 209.

du nitrate d'ammoniaque, que l'on retrouve en dissolution dans l'eau des pluies d'orage; on sait ensuite que la plupart des corps minéraux poreux, et notamment les oxides, contiennent naturellement de l'ammoniaque. Enfin, M. Becquerel a toujours observé que dans toute action électro-chimique, quelque faible qu'elle soit, si l'eau est décomposée au contact de l'air, il y a toujours formation d'ammoniaque.

Des remplacemens ou épigénies.

Il arrive souvent dans les différentes couches de sédiment, que des cristaux empâtés dans ces couches, ou même des corps organiques qui s'y trouvaient contenus, ont entièrement disparu, et l'on trouve alors de véritables moules d'une exactitude remarquable; mais ce qui arrive aussi quelquefois, c'est que ces moules sont remplis par une matière tout-à-fait différente de celle qui s'y trouvait contenue. Ainsi, on voit du quartz qui a remplacé du sulfate de chaux, de la chaux fluatée, de la chaux carbonatée, ou de la silice qui a rempli des cavités qu'avaient laissées des branches d'arbres, des coquillages ou d'autres débris du règne organique. Quoiqu'on n'aperçoive pas distinctement comment la première substance s'est dissipée, ni par quel moyen la seconde est venue la remplacer, on comprend cependant la possibilité d'un tel changement au moyen de liquides chargés de différens corps. On conçoit plus difficilement, dans une substance composée, comment un des élémens a pu s'échapper et être remplacé par un autre; c'est cependant ce qui arrive assez souvent. Fréquemment on rencontre des sulfures de fer qui ont perdu leur soufre, et dont le fer, en absorbant de l'oxigène, s'est tranformé en oxide souvent hidraté. On voit des carbo-

nates et plus souvent des phosphates de plomb convertis en sulfures, et conservant les formes de ces premiers composés; du sulfate de chaux se change en sulfate de strontiane. La forme est toujours conservée, comme nous venons de le voir; mais la structure intérieure est le plus souvent changée dans les espèces minérales. On est parvenu artificiellement à créer plusieurs de ces épigénies partielles au moyen de corps gazeux ou liquides, et même par le contact prolongé de corps solides légèrement humectés. On est loin cependant de connaître ce qui est relatif à ces singulières métamorphoses; mais M. Becquerel a mis sur la bonne voie ceux qui voudraient s'occuper de ces intéressantes recherches.

C'est par un phénomène analogue que semblent s'opérer les pétrifications, et non pas par une opération de moulage, comme nous en avons cité des exemples tout à l'heure.

C'est une chose bien digne de toute notre attention que de voir la netteté avec laquelle la nature conserve et rend indestructibles les parties les plus délicates de l'organisation. Rien de plus simple que de concevoir des impressions de feuilles, de plantes, de poissons, de plumes même, comme celle qui a été trouvée en Auvergne; mais comment expliquer l'admirable conservation des tissus ligneux et la diversité des matières qui les ont remplacés?

Ainsi, ils sont changés en *agate* dans les couches sablonneuses des environs de Soissons, d'Etampes, etc.; ils sont formés de *quartz résinite* dans les produits volcaniques de la Hongrie; ils sont changés en *tripoli* à Poligné, en Bretagne; d'autres en *grès quartzeux* pénétrés d'oxide de cuivre, comme ceux que Patrin observa entre le Volga et les monts Ourals; d'autres en *mine de fer*, comme les bouleaux fossiles de Sibérie;

d'autres en *minerai aurifère*, comme ceux de Vorospatack, en Transylvanie ; d'autres en *terre d'ombre*, comme la vaste couche de bois fossile des environs de Cologne, et cependant leur conservation est si parfaite, que, dans ces derniers temps, on est parvenu à déterminer presque leurs genres sur l'anatomie des fragmens fossiles.

On a trouvé près de Grignon des échantillons de bois agatisé qui contiennent une foule de larves d'insectes qu'on dirait encore dans leur état naturel.

M. Lelièvre, membre du conseil des mines, avait pareillement dans sa collection un échantillon de bois agatisé, d'un couleur obscure, tout criblé de gros vers blancs dont on reconnaissait encore l'organisation.

Dans plusieurs échantillons de ces bois agatisés, les vers sont mobiles dans leur alvéole, ce qui détruit absolument toute idée de moulage au moyen d'un fluide quartzeux ; car, dans cette hypothèse, le tout aurait fait une masse compacte.

De Saussure parle d'un morceau curieux qu'il vit à Bâle; c'est un crabe fossile, dont les œufs mêmes, qu'on voit sous sa queue, sont pétrifiés. En Auvergne, on a trouvé des œufs d'oiseaux parfaitement conservés.

Les fruits pétrifiés, dont on a divers exemples bien constatés, prouvent encore la promptitude de la pétrification. Les *noix fossiles* de Lons-le-Saulnier sont un des faits les plus curieux de ce genre. Elles furent trouvées dans un ancien puits des salines, à trente toises de profondeur. Leur coquille et leur zeste sont demeurés à l'état ligneux ; mais la noix elle-même a été convertie en silex (1).

---

(1) *Mémoire de l'Académie des Sciences*, 1742.

M. Buckland possède plusieurs échantillons de roches jurassiques contenant des bélemnites, auprès desquelles se trouvent des sacs d'encre fossile, occupant tous la même position, relativement à la bélemnite qu'ils accompagnent, et ayant la plus grande analogie avec l'encre des sèches, et si bien conservée, que des peintres qui en ont fait usage l'ont trouvée aussi bonne que celle retirée de ces animaux. Enfin, M. Erhenberg a récemment découvert des millions d'infusoires fossiles dont certains tripolis sont entièrement composés.

Comment expliquer tous ces faits qu'on pourrait multiplier à l'infini; comment concevoir que les tubes du bois soient restés creux au lieu de s'emplir les premiers; que les vers n'ont pas été collés au bois par la matière pétrifiante; que le corps mou des infusoires a pu être remplacé par de la silice? Il faut que la matière qui s'est substituée ainsi à une autre, dans ces différentes circonstances, soit arrivée molécule à molécule, et ait exactement remplacé celle qui se détachait; mais aucun phénomène chimique ne peut rendre raison de ce phénomène. M. Goppert, de Breslau, a bien adressé à l'Académie des sciences des échantillons de fossiles, préparés en faisant tremper les matières organiques dans des solutions minérales concentrées et en calcinant ensuite; mais il est douteux qu'il y ait du rapport entre ce procédé artificiel et ceux de la nature; car, du moment où la calcination détruit quelque chose, le remplacement ou l'épigénie n'a pas été complet, et il reste à savoir si un laps de temps plus long présenterait une action plus complète.

Nous plaçons ce phénomène avec les actions chimiques, pour qu'il y occupe son rang; mais nous n'avons pas la prétention de l'expliquer.

CHAPITRE QUINZIÈME.

DES ACTIONS ORGANIQUES.

Les êtres organisés ont paru à la surface du globe à une époque extrêmement reculée; car leurs débris se trouvent dans les couches de sédiment les plus anciennes. Dès lors, ils ont contribué pour leur part à la formation de toutes ces couches, et de nos jours encore, nous les voyons entrer pour quelque chose dans les dépôts que forment journellement les cours d'eau. Nous étudierons par la suite l'ordre et la disposition de ces êtres à la surface du globe, ainsi que la distribution de leurs débris dans les différentes couches de la terre. Il nous suffit pour le moment de voir la part qui leur revient dans la formation des terrains.

Les végétaux et les animaux ne paraissent pas avoir eu chacun la même influence. Les premiers ont plus d'importance, et c'est par eux que nous allons commencer.

DES ACTIONS VÉGETALES.

Nous n'examinerons pas ici l'influence que les végétaux exercent pendant leur vie sur les grands phénomènes de la nature, quoique cette influence s'étende très-loin; mais nous allons essayer de déterminer la nature et la puissance des dépôts qu'ils forment après leur mort.

L'humus, qu'il ne faut pas confondre avec la terre végétale, est le premier produit ou du moins le résultat actuel de la décomposition des végétaux. Tous les ans, les feuilles qui tombent des arbres ou qui se détachent de plantes herbacées, l'écorce qui s'exfolie, les organes des fleurs qui se dessèchent, les racines qui meurent, et les enveloppes des fruits qui gisent sur le sol, se décomposent et se transforment en une matière noire que l'on désigne aussi sous le nom de *terreau*. Cette matière, par son mélange avec le sable, l'argile et les alluvions qui existent aux points où elle est créée, forme la *terre végétale* qui favorise si puissamment la végétation.

L'humus est produit en très-grande quantité dans les vastes forêts de la zône torride et sous les sapins du Nord. Il s'en forme moins sous les climats tempérés, parce que les forêts y sont généralement moins étendues. Quand la décomposition des plantes, au lieu de se faire à l'air libre, se fait sous l'eau, il en résulte une variété d'humus connue sous le nom de *tourbe*, et qui se fait tous les jours sous nos yeux.

La tourbe se dépose dans tous les amas d'eau stagnante, sous quelque latitude qu'ils se trouvent; cependant on la rencontre en plus grande abondance dans le Nord que dans le Midi. On la trouve aussi à une très-grande élévation au-dessus du niveau de la mer. Toutes les plantes aquatiques concourent à former la tourbe; mais on l'attribue principalement à quelques mousses, telles que les *sphagnum*, si communs dans tous les marais; aux *conferves*, aux *callitriches*, aux *lemna*, et à diverses espèces des genres *carex*, *scirpus*, *butomus*, *equisetum*, *utricularia*, *arundo*, *typha*, *alisma*, *sparganium*, *sagittaria*, *hippuris*, *myriophyllum*, *phellandrium*, *potamogeton*, et probablement à beaucoup d'autres espèces.

On rencontre une foule de corps étrangers dans les tourbières. Les grands arbres y sont communs, ainsi que les coquilles d'eau douce, qui sont quelquefois si abondantes qu'elles communiquent à la tourbe une odeur très-désagréable. On y a signalé des ossemens humains, et même des cadavres entiers, et surtout un grand nombre d'ossemens du cerf gigantesque, espèce d'élan, qui devait être très-commun à l'époque des grands dépôts de tourbe de l'Irlande. Parmi les minéraux, on a rencontré le sulfate de chaux, le fer pyriteux prismatique, le soufre pulvérulent, le fer hydraté limoneux, le fer phosphaté bleu pulvérulent. Le sol qui est formé par de la tourbe est toujours très-élastique et très-léger; aussi il repousse les corps légers qu'on y enfonce, comme les pieux, etc., tandis qu'il absorbe les corps pesans qui se trouvent à sa surface. C'est ainsi que l'on a quelquefois trouvé des chaussées romaines dans des tourbières qui ne s'étaient pas formées après la construction de ces chaussées, mais dans lesquelles elles s'étaient enfoncées elles-mêmes.

La tourbe se trouve en lits très-puissans qui ne sont généralement recouverts que par des plantes ou des touffes de sphagnum, mais on voit aussi des tourbières cachées sous des couches de sable et de la tourbe alterner avec des lits de gravier.

Un des plus savans géologues de notre époque, M. Boué, a publié sur les tourbières des détails pleins d'intérêt et qui peuvent s'appliquer à toutes celles du nord de l'Europe, quoiqu'ils lui aient été suggérés par celles de l'Écosse :

« Lorsque les amas d'eau sont peu profonds, ou que les alluvions qui y ont été charriées sont parvenues à diminuer leur profondeur, on voit redoubler l'activité de la végétation des plantes aquatiques et marécageuses

qui auparavant ne déposaient qu'un peu de boue sur leurs bords et étaient réduites à quelques roseaux et à quelques autres plantes appartenant principalement aux familles des joncs et des cypéracées.

» C'est alors qu'on voit paraître sur l'eau ces *lemna minor* et *trisulca*, ces *callitriche*, ces *potamogeton*, etc., tandis que sur les bords, des plantes cryptogames marécageuses, et surtout le *sphagnum*, viennent peu à peu former des gazons serrés qui, en s'accumulant les uns sur les autres, et s'altérant par des décompositions, deviennent des tourbes où l'on distingue encore parfaitement leur origine végétale ; petit à petit, ces masses s'avancent, chassent les roseaux et les plantes aquatiques, et viennent même à recouvrir une partie de la surface de l'eau sur les bords, d'où résultent accidentellement ces îles flottantes qu'on voit par exemple dans le lac Dochart et ailleurs.

» Enfin, à force de temps, l'amas d'eau se change en un marais tourbeux, dans lequel s'accumulent, couche sur couche, des tourbes de différentes qualités, suivant leur ancienneté et suivant les substances accidentelles qui sont venues s'y mêler.

» La partie subalpine du comté de Kircudbright présente parfaitement tous les degrés de ce travail de la nature, et ainsi a été comblé ce lac qui s'étendait dans la vallée de Dumfries depuis Tinwald jusque près de l'embouchure de la Lochar, et ainsi se sont formées tant d'autres tourbières si abondantes en Écosse.

» Outre les débris arénacés charriés dans les lacs, et la végétation des plantes aquatiques et marécageuses, les ruisseaux y amènent des eaux si chargées de matières animales et végétales qu'elles donnent une teinte noirâtre au fond de la plupart des lacs écossais, et les mollusques qui habitent les lacs et les marais produisent

par leur mort une certaine quantité de particules calcaires qui se mélangent avec des parties argileuses pour former des marnes, et viennent naturellement à s'intercaler entre des couches de tourbe.

» C'est ainsi que se sont formés ces alternats de couches tourbeuses et marneuses que l'on voit dans tant d'endroits de l'Ecosse, comme par exemple, près de saint-Andrew, où la marne contient des débris de coquilles, et dans le comté de Perth, de Ross et d'Angus (1). »

On trouve en Hollande beaucoup de tourbe de ce genre, ainsi qu'en France, dans la vallée de la Somme et dans plusieurs autres lieux.

Indépendamment de cette variété de tourbe, qui est la plus commune, M. Boué en distingue trois autres, qui se retrouvent non-seulement en Ecosse, mais dans beaucoup d'autres contrées. Ce sont :

1° La tourbe des montagnes et des lieux humides; 2° la tourbe des forêts; et 3° la tourbe des bords de la mer.

La première de ces variétés existe dans les lieux montagneux, et avec quelques modifications, dans les vallées élevées. Elle forme des couches moins puissantes que les précédentes, brûle avec moins de facilité, et doit son origine aussi à des *sphagnum*, mais qui sont aidés de plusieurs espèces de plantes montagneuses, comme des *vaccinium*, des *arbutus*, des *erica*, etc. Cette tourbe, commune en Ecosse, se retrouve dans les Alpes, dans les Vosges, en Auvergne, etc.

« Les *tourbes des forêts* varient extrêmement, suivant la quantité de plantes qui ont servi à les pro-

---

(1) Boué, *Essai géologique sur l'Ecosse*, p. 342.

duire, et suivant les autres circonstances accidentelles de leur position; elles sont formées par la décomposition de plusieurs des plantes précédentes, de beaucoup de mousses et de lichens, des feuilles et des petites branches des arbres les plus communs de l'Ecosse, telles que le chêne, le pin, l'orme, le bouleau, et d'autres arbres moins ordinaires, comme le frêne, le noisetier, et différentes espèces de saules. Cette variété de tourbière est assez abondante en Ecosse, sur le flanc des montagnes, par exemple, dans le district de Braemar, dans les environs de Fraserburg, dans le comté d'Aberdeen et ailleurs : elle est recouverte maintenant de bruyères, et renferme un grand nombre de troncs d'arbres coupés par la main des hommes, ou tombés naturellement, et souvent ils sont d'une grosseur que l'on ne trouve que rarement dans les forêts écossaises actuellement existantes. « C'est aussi dans ce genre de tourbières, qui approche le plus de certains dépôts de lignite, qu'on a trouvé des restes de mammifères qui habitaient autrefois ou qui existent encore maintenant en Ecosse, ainsi que différens produits de la main des hommes, tels que des chaussées de bois, des instrumens, etc. (1) »

« *Les tourbes des bords de la mer* n'y occupent que de petits espaces, et se forment quelquefois par la décomposition des plantes croissant dans les marais salans, ou sur les bords marécageux des plages. Les principales sont le *glaux maritima*, *juncus maritimus*, *aster tripolium*, *schœnus mariscus*, *arenaria peploïdes*, *scirpus holoschœnus et maritimus*, *scirpus triqueter*, *matricaria maritima*, *statice armeria*, *artemisia ma-*

---

(1) Boué, p. 345.

ritima, *bunias cakile*, *chenopodium maritimum*, *salicornia herbacea.* »

Il faut ajouter à ces plantes le *zostera marina*, qui, par ses longues feuilles et ses gazons sous-marins, contribue beaucoup à donner naissance à cette sorte de tourbe. M. Boué en a observé des dépôts sur les côtes du midi de l'Ecosse. Ils alternaient avec des sables, des marnes et des dépôts boueux, surtout au fond des baies qui reçoivent un torrent, comme West-Tarbet, et dans l'île d'Isla.

Il faut rapporter à cette espèce de tourbe celle qui a été découverte dernièrement par M. Coquand, entre la Chaume et les Granges, dans un terrain d'alluvion submergé par l'Océan. Ces tourbières paraissent occuper un espace considérable, que les sables qui les recouvrent vers la côte réduisent à 860 toises de long environ sur 500 de large; elles sont situées entre les stéaschistes au sud et le calcaire jurassique au nord, et sont redevables de leur état de conservation à la protection que leur prêtent ces roches contre les érosions des lames. La tourbe est brune, noirâtre, formée par l'accumulation de diverses plantes marines qui paraissent se rapporter à des ulves et à des fucus, et composée de plusieurs couches qui se divisant avec facilité, donnent à l'ensemble de la roche une apparence schisteuse. Les parties les plus profondes présentent une matière compacte, réduite à une pâte assez homogène, à cassure terreuse, tandis que celles exposées à la surface se distinguent par une couleur moins foncée, et laissent apercevoir moins décomposées les plantes qui ont concouru à leur formation. Desséchée au soleil, la tourbe éprouve un retrait considérable qui fendille la masse en tous les sens et la divise en feuillets racornis; elle brûle avec facilité, en

dégageant nne mauvaise odeur et une fumée blanche, et en donnant pour résidu une cendre très-légère, qu'on rendrait peut-être utile à l'agriculture. Elle repose en bancs épais de 10 à 12 pouces, sur un lit formé de terres d'alluvions, dans lequel on distingue avec des fucus, des coquilles d'eau douce (hélices, paludines) mêlées avec des coquilles qui vivent dans la vase des marais salans, bucardes, etc., circonstance qui lui assigne le même âge qu'aux terrains d'alluvions situés en deça des dunes. Ce lit terreux participe de la nature de la tourbe jusqu'à un certain point; si, comme elle, il n'est point carbonisé, il renferme cependant, quoiqu'en moins grande quantité, des plantes marines qui n'ont pas subi de décomposition; il présente en outre la structure schisteuse, et brûle avec beaucoup de difficulté : on dirait une tourbe blanchâtre que des circonstances particulières auraient empêchée de se carboniser, comme celle qui lui est superposée, et qui constitue la véritable tourbe (1).

Nous avons fait remarquer que les tourbières renfermaient quelquefois des troncs d'arbres très-volumineux; mais il existe dans des terrains analogues à ceux qui renferment les tourbes, des forêts tout entières qui sont ensevelies. On en a trouvé une près Paris au Port-à-l'Anglais, et elles sont très-communes sur les bords des grands fleuves de l'Amérique, où elles se forment journellement, ainsi qu'on en a la preuve dans les charriages continuels de ces fleuves, et comme le rapporte d'ailleurs M. de Humboldt.

« Notre canot toucha plusieurs fois dans la matinée.

(1) Communication de M. Coquand à la Société géologique, séance du 11 janvier 1836; et *Institut*, 4e année, p. 211.

» Les secousses, lorsqu'elles sont très-violentes, peuvent
» fendre de frêles embarcations : nous donnâmes sur
» la pointe de plusieurs grands arbres qui, pendant
» des années entières, restent dans une position obli-
» que enfoncés dans la vase. Ces arbres descendent du
» Sarare, à l'époque des grandes inondations. Ils rem-
» plissent tellement le lit de la rivière, que les piro-
» gues, en remontant, ont quelquefois de la peine à se
» frayer un passage par les hauts-fonds où il y a des
» tournans (1). »

Ces forêts souterraines sont très-communes sur les bords de la mer, où on les a fréquemment observées en France et dans les Iles Britanniques. Nous citerons comme exemple celle de Morlaix, dans le département du Finistère.

« Je me rendis sur le terrain au moment même d'une tempête, pendant les horribles ouragans du mois de février dernier (1811); je fus favorisé par une grande marée qui me donna l'avantage de pousser mes recherches plus avant vers le fond de la mer.

» La plage sur laquelle je me rendis forme une immense demi-cercle; son fond, dans sa partie la plus reculée, est terminé par des montagnes granitiques, presque sans végétation. La mer ne vient point jusqu'au pied de ces montagnes; elle s'est opposé une digue naturelle d'environ 30 pieds de hauteur, composée de galets, parmi lesquels se trouvent presque toutes les variétés de quartz. Au pied de cette digue, commence une grève magnifique; sa pente est d'environ deux lignes par toise; je l'avais toujours vue couverte du sable le plus fin, le plus uni et le plus blanc. Ma sur-

---

(1) Humboldt, *Voyage aux régions équinoxial.*, t. VI, p. 224.

prise fut extrême lorsqu'au lieu d'un sable éblouissant, je trouvai un terrain noir et labouré par de longs sillons; j'examinai ce terrain avec attention, et je ne tardai pas à reconnaître les traces de la plus longue et de la plus ancienne végétation; la mer avait emporté le sable.

» Ce sol, ordinairement si uni, présentait des ravins profonds qui me donnaient les moyens d'observer les différentes couches qui le composent; la première variait d'épaisseur en raison des dégradations que la mer lui avait fait éprouver; elle était entièrement composée de détritus de végétaux. Les feuilles d'une plante aquatique y sont très-abondantes et les mieux conservées; elles sont presque à l'état naturel. J'ai obtenu quelques feuilles assez distinctes d'arbres forestiers et de saule. La terre qui forme le sol, ayant été exposée aux influences alternatives de la pluie et du soleil, s'est gercée et fendillée, et j'y ai trouvé des fragmens d'insectes très-bien conservés : une chrysalide entière, la partie inférieure d'une mouche avec son aiguillon.

Sur la couche noire et compacte dont il s'agit, on voyait des arbres entiers renversés dans tous les sens; ils sont pour la plupart à l'état de terre d'ombre; cependant les nœuds, en général, ont conservé de la consistance, et la qualité des bois est très-reconnaissable. L'if a conservé sa couleur, ainsi que le chêne, et surtout le bouleau, qui s'y rencontre en grande abondance; il a conservé son écorce argentée. Le chêne prend promptement à l'air une teinte noire très-foncée, et acquiert de la dureté; desséché, il brûle avec une odeur fétide. J'ai obtenu des mousses vertes comme dans leur état de végétation.

» Cette même couche, reste de la plus forte végétation, est superposée à un sol qui me semble avoir été

une prairie. J'y ai trouvé des roseaux, des racines de jonc, des asperges : toutes les plantes sont en place; leur tige est perpendiculaire; j'ai pris des racines de fougères qui ont encore le duvet, qu'elles perdent ordinairement au moment où leur végétation cesse. Le sol de la prairie dont je viens de parler est un composé de sable et de glaise grise; il se prolonge très-avant dans la mer; j'en ai retiré des joncs qui avaient encore leur substance médullaire; mais, à cette distance, il n'y a plus de vestiges de la forêt, et j'ai trouvé le roc vif. C'est aux pointes que ce roc présente, et à la résistance qu'il oppose aux efforts de la mer, qu'on doit la conservation de ce qui reste de la forêt.

» Je poursuivis mes recherches sur une étendue de grève d'environ sept lieues; je retrouvai souvent le premier sol, quelquefois le second, et presque sur toute cette étendue, la preuve de l'existence d'une immense forêt. Faute d'une tarière, il m'a été impossible de faire des recherches plus exactes. Une particularité assez remarquable, c'est que, parmi les débris de cette forêt apportés sur la grève, j'y ai trouvé la moitié d'un coco. Je me propose, cet été, de faire d'autres recherches.... (1). »

Le R. J. Yates a décrit (2) aussi une ancienne forêt de *pinus sylvestris* qui a été en partie submergée, près de l'embouchure de la rivière Dovey, par suite de la démolition accidentelle d'une digue. Un cas semblable a déjà été constaté par M. Harris, sur les rives du Hampshire; et l'on peut dire que les phénomènes de

---

(1) Extrait d'une lettre de M. de La Fruglaye à M. Gillet-Laumont, sur une forêt sous-marine qu'il a découverte près Morlaix (Finistère), en 1811. *Journal des Mines*, novembre 1811.

(2) Société géologique de Londres, séance du 15 février 1833.

ce genre sont assez nombreux pour permettre d'établir qu'il existe presque à l'entour de l'Angleterre et de l'Ecosse une frange sous-marine couverte de bois et de forêts.

On est, du reste, très-embarrassé pour expliquer la position de ces forêts sous-marines, surtout s'il est bien constaté, comme les faits semblent le prouver, que les arbres y sont droits et dans leur position naturelle. On comprend bien le dépôt de grands arbres culbutés et charriés par les fleuves, et ensuite ensevelis dans la vase à l'embouchure des rivières, mais on ne conçoit pas l'enfouissement d'une grande zône de terre tout autour de l'Angleterre et de l'Ecosse. On cherche à expliquer ce phénomène par un affaissement du sol produit par une secousse violente ou par un grand nombre de petites secousses réitérées. Ces affaissemens doivent se lier à la théorie des soulèvemens, mais il sera toujours difficile d'admettre que l'Angleterre, l'Ecosse, et les côtes de France, se soient toutes abaissées précisément de la quantité nécessaire pour placer les cîmes des forêts dont les côtes étaient couvertes, au-dessous des limites que la mer atteint dans ses marées.

Il y a dans tout ce que nous venons de dire un fait constant et que l'on ne contestera pas, c'est l'enfouissement continuel des matières végétales; et du moment que ce fait est admis, on ne sera pas étonné de voir qu'il s'est toujours présenté depuis que la terre est couverte de végétaux; et l'on verra avec moins d'étonnement rapporter à leur décomposition la plupart des matières charbonneuses qui sont intercalées dans les couches plus anciennes. Ainsi les *lignites*, les *houilles*, l'*anthracite*, une partie des *bitumes*, n'ont probablement pas d'autre origine.

Il y a même parmi les autres substances minérales quelques matières qui, selon toute apparence, proviennent de végétaux. Tel est, par exemple, le succin ou ambre jaune.

On présume avec beaucoup de vraisemblance que le succin n'est autre chose qu'une résine altérée par son long enfouissement, ou par l'action de matières étrangères. Il y a des morceaux de cette substance qui offrent une forme analogue à celle de certaines gommes et résines, et qui semblent avoir coulé des arbres comme celles-ci. Cette opinion a acquis encore plus de probabilité, depuis que l'on a découvert que l'acide succinique existe dans les térébenthines. On sait d'ailleurs que la résine qui découle des arbres peut pénétrer dans le sol et s'y conserver indéfiniment. C'est ainsi qu'on découvre à 5-6 pouces de profondeur, entre les racines de l'*hymenea courbaril*, des masses de résine animée (faussement appelée *copal*). On les a prises quelquefois pour du succin trouvé dans l'intérieur des terres (1).

Les chimistes admettent depuis long-temps cette idée sur la production du succin. Quelques naturalistes, remarquant le grand nombre d'insectes que l'on y rencontre enchâssés, avaient d'abord pensé que c'était du miel fossile (2); mais une résine primitivement gluante peut expliquer tout aussi facilement l'abondance de ces animaux.

Le diamant, qui, comme on sait, est du carbone

---

(1) *Schweigger*, *Beob*. 1819, p. 104, cité par Humboldt.

(2) Gilibert cite un ancien chapelet à l'espagnole fait en succin, et dont chaque grain renfermait un insecte. C'était, dit-il, une véritable collection entomologique.

pur, a aussi été considéré par le savant professeur Jameson comme ayant une origine végétale, et dernièrement encore cette idée vient d'être reproduite par M. Brewster, qui, en comparant les propriétés polarisantes du diamant et de l'ambre, s'est assuré que ces deux substances contiennent des cellulosités remplies d'air, et que le diamant a dû être mou. Sa mollesse n'a pas dû provenir d'une fusion ignée, mais elle a été semblable à celle d'une gomme demi-endurcie, ce qui rend probable que le diamant est, comme l'ambre et le mellithe, un produit de décomposition végétale. En effet, les autres substances naturelles ou artificielles crées par la voie aqueuse ou la fusion ignée, et renfermant des cavités pleines d'air, offrent des propriétés de polarisation totalement différentes (1).

ACTIONS ANIMALES.

Dès que la terre a été peuplée de végétaux, les animaux ont dû paraître et se multiplier. On trouve, en effet, dans les couches de sédiment les plus anciennes, des restes qui appartiennent évidemment au règne animal; et il serait peut-être bien difficile de prouver que des végétaux avaient précédé ces espèces.

De nos jours, les dépôts qui sont formés par les animaux ont fort peu d'importance. Ils consistent en quelques sables en couches très-limitées provenant de la décomposition des coquilles, en excrémens d'oiseaux, et en masses plus volumineuses formant des îles ou des rescifs dans certaines mers, et qui sont dues au travail de quelques polypiers.

---

(1) *Lond. a. Edimb. philos. mag.*, v. III, n° 15, p. 219.

Les sables qui proviennent de la décomposition des coquilles marines sont rarement purs, ils sont généralement mélangés de détritus appartenant au règne inorganique, et d'ailleurs ils ne s'étendent jamais bien loin. Les plus remarquables sont ceux que M. Robert a trouvés sur les côtes d'Islande. Les vagues qui viennent avec violence les apporter et les briser sur le rivage, réduisent si bien les coquilles en poudre fine, que ces sables ressemblent tout-à-fait à du son ; le vent les rassemble ensuite, et en forme des dunes rougeâtres qui s'élèvent bien au-dessus du niveau actuel de la mer et des plus fortes marées.

Les dépôts formés par les excrémens des oiseaux sur quelques îlots sont composés d'une matière connue sous le nom de *guano*. Cette substance se trouve très-abondamment dans la mer du Sud, aux îles de Chinché, près de Pisco, où MM. de Humboldt et Bompland la trouvèrent ; mais elle existe aussi sur les côtes et îlots plus méridionaux, à Ilo, Iza et Arica. Les habitans de Chancay font un commerce considérable de cette substance, qui renferme une grande quantité d'acide urique, et qui sert d'engrais pour la culture du maïs et de plusieurs autres végétaux.

Le guano forme des couches de 50 à 60 pieds d'épaisseur que l'on travaille comme des mines de fer ocracé. Les îlots où on le recueille sont habités par une multitude d'oiseaux appartenant principalement aux genres ardea et phénicoptère, qui y couchent la nuit ; mais leurs excrémens n'ont pu former, depuis trois siècles, que des couches de 4 à 5 lignes d'épaisseur, en sorte qu'on ne sait pas positivement si le guano appartient réellement à l'époque actuelle.

On a bien trouvé aussi dans plusieurs cavernes de petites couches de matière animale, formées par les ex-

crémens de divers animaux, et notamment par ceux des hyènes et des chauve-souris; mais ces dépôts sont si peu abondans qu'il est presque inutile de les mentionner.

Les créations actuelles faites par les polypiers, sont beaucoup plus importantes, quoique on ait exagéré leur étendue. Il y a des archipels tout entiers qui en sont garnis, et sur lesquels ces animaux ont déposé des couches calcaires d'une certaine épaisseur.

Les polypiers vivent principalement sous les zônes chaudes du globe; on ne les retrouve plus dans les régions voisines des pôles, ou du moins ils n'y forment jamais de vastes concrétions comme celles qu'ils présentent dans les pays chauds.

Toutes les espèces ne possèdent pas, à beaucoup près, la faculté de former des îles ou des couches puissantes. Ceux qui jouissent de cette prérogative appartiennent principalement aux genres *Astrea*, *Meandrina* et *Caryophyllia*. On les trouve dans toutes les mers dont les eaux peuvent atteindre à la surface une certaine température. Les formations corallines sont communes dans la mer Rouge, où M. Erhenberg les a observées avec soin. Les bancs de polypiers commencent au port de Tor et finissent à l'Arabie Heureuse. Ils se tiennent à 2 ou 3 mètres au-dessous du niveau de la mer. Leur surface est très-unie, sauf les intervalles qui se trouvent entre leurs branches. Les bancs sont allongés dans le sens du rivage, et il y en a souvent plusieurs bandes. Sur la côte d'Egypte, il y en a peu, parce que la mer est profonde et qu'il s'y fait des dépôts sédimentaires. L'accroissement de ces bancs de polypiers est extrêmement lent, et l'on a calculé qu'ils pouvaient tout au plus s'accroître d'un millimètre et demi par an; et M. Erhenberg pense que les masses

madréporiques qu'il a étudiées dans la mer Rouge sont encore les mêmes que celles qui existaient du temps de Pharaon.

Les bancs de polypiers qui sont dans l'Océan Pacifique, croissent plus rapidement, d'après les recherches de MM. Quoy et Gaymard, qui ont publié d'intéressantes observations sur ce sujet (1). Ces savans ont observé que, dans les régions où la chaleur est intense et où les rivages sont découpés par des baies dans lesquelles les eaux sont tranquilles et peu profondes, les polypes saxigènes prennent un accroissement considérable, en incrustant les roches inférieures. On en trouve un grand nombre dans la mer des Indes, dans le canal de Mozambique, et aux îles Maldives et Laquedives. Ces dernières ne sont, pour la plupart, que des masses de polypiers. Il y en a des bancs puissans dans les Antilles; ils forment de grands rescifs à Bahama, et constituent cette infinité de petites îles appelées *Cayos* qui avoisinent l'île de Cuba. A la Guadeloupe, ils entrent dans la composition des couches calcaires qui se forment journellement. Les îles Sandwich et une grande quantité d'îlots de l'Océanie doivent leur origine au travail des polypiers. L'île d'Oahu, l'une d'elles, est remarquable par la disposition étagée de plusieurs bancs de coraux qui s'élèvent à mesure que l'on avance dans l'intérieur de l'île, tandis qu'ils s'abaissent sous les eaux à mesure qu'on s'en éloigne; mais on reconnaît encore leur présence aux lignes successives d'écume blanche qu'ils occasionnent. L'espace entre les rangées est rempli de sable corallin, qui s'élève souvent sous forme de dunes. La matière

(1) *Annales des Sciences natur.*, t. VI, p. 273.

pierreuse des rescifs est tantôt celluleuse et tendre, d'une couleur de paille, et paraît à la loupe composée de fragmens réunis en grappes, et facilement désagrégée par l'air; tantôt plus dure, plus compacte, d'une couleur grisâtre et d'une cassure granuleuse. Le sable qui forme les vastes plaines autour de ces rescifs, est d'une blancheur éblouissante, et consiste en très-petites particules de fragmens de coquilles, de calcaire et d'une roche probablement volcanique; le sol cultivable est formé de ce sable ou de lave décomposée; il est dans les deux cas si poreux, que si l'arrosement n'en est pas constant, il est entièrement stérile (1).

Un fait remarquable, c'est que presque toutes les îles madréporiques sont circulaires et présentent dans leur centre une petite dépression remplie d'eau qui est ordinairement saumâtre. Cela tient à ce que les polypes se plaisent la plupart dans les courans. Ceux qui se trouvent sur les bords du massif, exposés à l'action des lames, croissent donc plus rapidement et avec plus de vigueur; ceux du centre au contraire languissent et ne peuvent se développer, non plus que ceux qui se trouvent dans le sens opposé à la direction ordinaire des flots. Il en résulte que la masse madréporique prend une forme de fer à cheval qui rappelle un peu celle de certains cratères (*Fig.* XVIII.) (2).

La position relative des îles est aussi fort singulière, en ce que souvent elles sont aussi disposées en fer à

---

(1) Esquisse géognostique sur l'île de Oahu, l'une des Sandwich, par M. Gairdner. (*Edimb. new philos. Journal*, 1835, n° 2.—*Biblioth. univ.*, 1836, n° 2.)

(2) Élie de Beaumont, Résumé de son Cours, l'*Hermès*, 3e année, p. 205.

cheval ou en cercle. MM. Quoy et Gaymard pensent que cette disposition circulaire de quelques groupes est due à des cratères sous-marins sur la crête desquels les polypes ont édifié leurs massifs.

Tous ces bancs offrent à leur partie supérieure la structure des polypiers qui les ont formés, et l'on retrouve dans la composition des calcaires une certaine quantité de matière gélatineuse. A mesure que l'on s'enfonce, ce caractère disparaît, la roche devient massive, ressemble d'abord à du calcaire concrétionné, et enfin à du calcaire très-compacte. Près de Djeda, sur les côtes de la mer Rouge, on extrait d'un banc semblable des pierres dont le volume est énorme. Ces bancs ont toujours une position très-horizontale, et l'on trouve en France, dans les terrains calcaires, déjà fort anciens, de la Normandie et de la Côte-d'Or, des assises de même nature qui présentent aussi la même situation.

Quoiqu'on ait exagéré l'étendue des îles qui étaient entièrement formées de coraux, ils forment cependant des terrains qui occupent encore un assez grand espace; ainsi les Maldives sont plus étendues que les Alpes. Il paraît que le genre *astrea* est le seul qui puisse élever d'aussi immenses terrains.

On avait supposé, en voyant ces îles madréporiques s'élever au-dessus des flots, qu'elles s'élargissaient beaucoup en s'enfonçant, et qu'elles n'étaient que le sommet de vastes montagnes dont la base touchait au fond de la mer, et qu'elles étaient entièrement l'œuvre des polypiers. Des observations récentes ont démontré l'impossibilité d'une telle supposition; car on a reconnu que les polypiers, créateurs de ces montagnes, ne pouvaient pas vivre au-dessus de la surface de l'eau, et qu'il leur était impossible aussi de construire leurs singuliers édifices à une profondeur telle que la lumière ne puisse pas

les atteindre. Ainsi, à 200 mètres de profondeur, il n'existe plus de polypiers, et toutes les observations tendent même à faire supposer que les couches que l'on voit à fleur d'eau ne descendent pas à 10 mètres au-dessous. Il paraît que c'est à cette profondeur que ces animaux commencent à bâtir, et que de long-temps ils n'atteignent la surface. Aussi ils bordent seulement les îles quand elles ont une certaine étendue, c'est-à-dire qu'ils commencent à se développer le plus près possible de la surface de l'eau, en s'appuyant sur le prolongement sous-marin de l'île, et ensuite ils s'en éloignent en gagnant toujours en profondeur. C'est ainsi qu'ils forment tout autour des ceintures interrompues que l'on appelle rescifs, et qui sont séparés du centre par de petits bras de mer. Ces bancs sous-marins deviennent, en approchant de la surface, des écueils fort dangereux et très-communs dans certaines mers.

Malgré ce que nous venons de dire du travail des polypiers, et de l'impossibilité où ils se trouvent d'élever leur demeure au-dessus des eaux, on ne voit pas moins un grand nombre d'îles madréporiques qui ont atteint une très-grande élévation au-dessus du niveau des mers. Si l'on se rappelle que souvent les bancs de coraux sont établis sur des terrains volcaniques, on concevra sans peine que des tremblemens de terre ou des éruptions sous-marines puissent les soulever et les maintenir à une certaine hauteur, et nous verrons, en parlant des soulèvemens, que de tels phénomènes peuvent encore avoir lieu de nos jours. Il paraît pourtant que l'on n'a pas besoin de faire intervenir cette force pour expliquer de petits exhaussemens des masses madréporiques ; l'action des vents et des vagues suffit pour en rendre raison.

Un grand nombre d'îles, comme les Maldives, les

Bermudes, sont à sec aux basses marées. Les débris qui s'y trouvent répandus sont repris et entassés par le vent. Il se forme ainsi petit à petit des couches et des dunes émergées, sur lesquelles la végétation commence à se développer. Des graines, charriées par les courans, s'y arrêtent, y prospèrent, et bientôt le règne végétal s'élève sur les débris des animaux. Dès qu'une petite portion d'île est émergée, l'élévation continue, et un archipel entier peut naître ainsi au milieu des flots par la seule action du règne organique.

M. Nelson assure qu'il peut se former ainsi des îles qui atteignent jusqu'à 250 pieds d'élévation, et dont les couches, inégalement distribuées par les vents, présentent des rudimens de montagnes et de vallées. M. Nelson cite pour exemple les Bermudes, dont les couches, formées de cette manière, offrent un singulier mélange de coquilles marines et terrestres, de débris de plantes, d'oiseaux et de tortues (1).

Lorsque par la suite nous étudierons les caractères

---

(1) C'est sans doute à un phénomène analogue qu'il faut rapporter l'exhaussement de l'île de Oahu. Voici ce qu'en dit M. Gairdner : « Un fait curieux, c'est l'élévation des rochers de » coraux ; dans quelques localités, ils dépassent de 50 pieds le » point le plus élevé qu'atteint maintenant le niveau de la mer. » Cependant ils ont dû être submergés lors de leur formation, » puisque les polypes ne peuvent vivre hors de leur élément. » Faut-il y voir un abaissement graduel de l'Océan, ou bien de » ces relèvemens insensibles dont on a cru trouver déjà tant » d'exemples ? Quoi qu'il en soit, à mesure qu'on s'éloigne de » l'île, les masses corallines que l'on aperçoit long-temps deviennent plus profondes, et elles l'entourent de plusieurs ceintures » de rescifs qui viendront sûrement un jour en augmenter considérablement l'étendue. » (*Edimb. new philos. Journal*, 1835, n° 2.—*Biblioth. univ.*, 1836, n° 2.)

des anciennes roches de sédiment, nous verrons paraître successivement une grande quantité de dépôts à la formation desquels les animaux ont contribué. Nous retrouverons les polypiers à différens étages, et nous verrons les coquillages autrefois si abondans au milieu des eaux chaudes de l'Océan, former, presque à eux seuls, des assises subordonnées aux bancs puissans qui proviennent de la décomposition des roches préexistantes.

CHAPITRE SEIZIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS

SUR LES FORCES AGISSANTES QUI VIENNENT D'ÊTRE ÉTUDIÉES ET SUR LES DÉPOTS DES TERRAINS DE SÉDIMENT.

Les faits nombreux que nous venons de rapporter prouvent à l'évidence que les dépôts qui se forment actuellement sont le résultat d'une foule d'actions partielles qui doivent faire varier à l'infini les caractères des terrains qui sont créés journellement par elles. Ainsi, d'un côté, l'action de l'air et des eaux qui active la décomposition des roches, les pluies et les ruisseaux qui en charrient les fragmens, les mers qui rongent les côtes, et les grands fleuves qui déposent à leur embouchure les débris des continens; de l'autre, les forces vitales constamment occupées à créer des plantes et des animaux, qui meurent et laissent leurs dépouilles au milieu des détritus arrachés aux montagnes, toutes ces actions journalières doivent nous démontrer que tous les terrains de sédiment doivent être composés d'une masse énorme des débris des trois règnes.

Les mêmes forces qui agissent aujourd'hui avaient sans doute autrefois une intensité bien plus grande, puisque les terrains de sédiment anciens sont plus puissans et plus étendus que les nouveaux; mais quand on

cherche à connaître leur composition, on remarque bientôt qu'elle est la même que celle des terrains modernes, et qu'il suffit d'augmenter l'action des causes actuelles pour se rendre parfaitement raison de leurs plus grands résultats.

Ces petits dépôts, qui se forment aujourd'hui à l'embouchure des rivières et des fleuves, ces plaines couvertes de sables et de cailloux, abandonnées par les eaux, recouvrent d'autres terrains formés de la même manière, à des époques antérieures, et prouvent que de grands amas d'eau et d'immenses courans ont existé sur la terre.

Ces dépôts comblent de très-grands bassins creusés au milieu des roches cristallisées, et ont souvent une épaisseur de plusieurs centaines de mètres et quelquefois de plus de mille. Ils occupent les dépressions d'un sol créé par des forces tout-à-fait différentes de celles auxquelles ils doivent leur origine.

On remarque dans chacun de ces dépôts une série de couches posées les unes sur les autres, et souvent même passant par nuances insensibles de l'une à l'autre. Quelquefois un retour périodique de couches alternativement minces et épaisses, argileuses ou calcaires, colorées de teintes qui successivement reviennent les mêmes, indiquent dans les dépôts une alternance qui doit dépendre de causes particulières.

Nous retrouvons pour les couches actuelles des phénomènes analogues, dans les crues périodiques des grands fleuves qui amènent à leur embouchure ou dans les lacs qu'ils traversent, des dépôts abondans pendant la saison des pluies, et peu considérables en tout autre temps.

Les anciens dépôts de sédiment s'opéraient comme les nouveaux. On trouve dans chaque formation une

couche de grès ou des fragmens assez volumineux qui occupent la partie la plus basse; au-dessus viennent les sables et les grès à grains fins, puis des calcaires et des argiles, dont les particules extrêmement fines restaient suspendues les dernières, et se déposaient enfin en couches homogènes et uniformes.

Les assises qui composent les anciens terrains de sédiment sont beaucoup plus denses que les dépôts actuels, et l'on conçoit très-bien qu'étant comprimées par de grandes masses d'eau, elles ont dû se tasser et présenter une texture plus compacte que les alluvions actuelles qui sont souvent tout-à-fait incohérentes et qui, en effet, n'éprouvent d'autre pression que celle de l'atmosphère. Ces roches de sédiment devaient, d'ailleurs, être beaucoup plus compactes que les autres, parce que les actions chimiques étant aussi plus intenses, presque toutes étaient douées d'un ciment calcaire dont la plupart des roches modernes sont maintenant dépourvues.

Les forces organiques étant aussi plus actives, les fossiles devaient être plus nombreux, et c'est effectivement ce que l'on observe. Les êtres organisés ont laissé dans toutes ces couches une énorme quantité de débris parfaitement reconnaissables et disséminés dans la plupart des assises de ces terrains de sédiment; peut-être même est-ce à la décomposition des animaux qu'il faut attribuer l'odeur fétide qu'exhalent, par le frottement, la plupart des roches calcaires.

Les végétaux ont non-seulement laissé leurs fruits ou de nombreuses empreintes dans les anciens terrains de sédiment; mais moins altérables que les minéraux, ils se sont trouvés presque entiers dans certaines couches, d'où l'on retire maintenant une grande quantité de matières combustibles. Aussi, depuis les tourbières et les forêts souterraines, dans lesquelles les plantes ont con-

servé presque tous leurs caractères, jusqu'aux dépôts de houille et d'anthracite, qui n'offrent plus qu'un tissu compacte ou une structure fragmentaire, on observe une série de nuances ou de dégrés d'altérations qui prouvent qu'à des époques différentes les végétaux ont été soumis à des forces d'autant plus intenses, qu'elles s'éloignent davantage de l'époque actuelle, quoique cependant ces forces aient les plus grands rapports avec nos petites actions contemporaines.

L'examen des fossiles végétaux et animaux est de la plus grande importance dans l'étude de ces terrains, et l'on remarque avec surprise qu'à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la terre, c'est-à-dire de l'époque actuelle, les débris organiques que l'on rencontre appartiennent à des animaux plus différens de ceux qui existent maintenant; en sorte que la faune et la flore de ces anciens temps où se déposaient les premiers terrains de sédiment, ne ressemblaient en rien à la création de notre époque. Si dans les dépôts récens on trouve des espèces semblables à celles qui vivent encore, c'est dans les contrées les plus chaudes de la terre qu'il faut aller chercher les identiques, et tout nous prouve que cette grande puissance de vie qui se manifeste encore sous la zône torride était alors répandue sur toute notre planète, dont la température doit s'être graduellement abaissée.

L'examen de tous ces débris fossiles qui abondent dans les terrains de sédiment, a fait faire une remarque très-curieuse; c'est qu'une partie s'est déposée dans la mer et une autre partie sous les eaux douces. Il y a donc eu autrefois de grandes mers qui couvraient la surface actuelle des continens, ou au moins de grands lacs d'eau salée, et il y a eu aussi de grands lacs d'eau douce.

Dans les uns et les autres de ces lacs se sont déposées des couches de sédiment, comme très-probablement il s'en dépose actuellement au fond des mers et des grands bassins, et il est tout naturel que les débris d'êtres organisés qui tombent au fond de l'eau ou qui sont entraînés par des courans jusque dans les lieux les plus profonds, soient empâtés par les sédimens qui s'y déposent en même temps. En sorte que l'on peut très-bien se rendre raison de la création de toutes les couches des terrains de sédiment et de l'accumulation de tous ces débris dans les grands lacs qui existaient alors, par la simple application des forces actuelles, en augmentant toutefois graduellement leur intensité.

Quant aux causes qui ont émergé ces terrains autrefois plongés sous des mers profondes; quant à celles qui ont brisé leurs couches et ouvert au milieu d'elles des fentes et des cavernes en partie vides encore et en partie comblées, qui ont relevé les couches dans toutes sortes de directions, et élevé des restes de coquillages jusqu'aux sommets des montagnes, elles viennent encore se ranger dans les causes actuelles augmentées de puissance, mais elles n'appartiennent pas à la division des forces extérieures qui nous ont occupé dans cette dernière partie de notre travail.

Il y a cependant une circonstance qui mérite de fixer ici toute notre attention, c'est le mélange dans les mêmes couches ou dans des assises superposées de corps marins et d'animaux vivant dans les eaux douces. Il est facile de concevoir que des roches formées sous les eaux de la mer, et contenant les débris de ses habitans, puissent être recouvertes par des couches évidemment déposées dans les eaux douces; car un accident ou une secousse violente a pu émerger une portion de terrain sous-marin, et les eaux douces ont pu ensuite l'occuper

pendant long-temps; mais il est plus difficile de comprendre l'alternative des couches formées sous les eaux douces et sous les eaux salées. C'est cependant ce que l'on remarque dans quelques localités, et ce que l'on a surtout bien observé dans le bassin où est bâtie la ville de Paris.

Quelquefois les débris qui proviennent de corps marins se trouvent mélangés avec des restes d'animaux qui ont vécu dans les eaux douces ou sur la terre; d'autres fois des couches superposées contiennent séparément les restes qui appartiennent à l'une ou l'autre de ces deux grandes divisions.

La présence de ces divers débris a fait partager les terrains de sédiment en deux grandes classes, selon qu'ils ont été déposés sous les eaux douces ou sous les eaux marines.

On a cherché à expliquer par de grands cataclysmes l'alternative de ces deux genres de dépôts, et l'on a cru long-temps que la mer, après avoir baigné certains terrains, s'en était retirée; que les eaux douces étaient venues remplacer les vagues salées, et que la mer, en venant encore renouveler son séjour, avait abandonné de nouveaux débris. Mais ceux qui cherchent à tout expliquer au moyen de grandes révolutions et par d'immenses oscillations des mers, ne songent pas que si l'Océan se retirait d'un rivage, il abandonnerait tous les autres, puisque la surface de l'eau reprend toujours son niveau. Dès-lors un phénomène qui s'est passé dans le bassin de Paris, aurait dû se produire sur toutes les côtes des deux continens. La mer ne peut donc pas se retirer d'un rivage, mais ce rivage lui-même peut être élevé au-dessus des eaux. Il serait cependant bien difficile d'admettre qu'une portion de terrain aussi considérable que le bassin de Paris, par exemple, eût pu

être successivement soulevée et abaissée à plusieurs reprises, de manière à permettre à des dépôts aussi différens et aussi étendus de s'opérer. C'est donc encore dans l'action des causes contemporaines qu'il faut chercher une explication raisonnable de ce phénomène, et si nous nous rappelons que les grands fleuves charrient sur les bords de la mer une énorme quantité de débris qu'ils déposent à leur embouchure, si nous pensons à ces luttes continuelles de l'Océan contre les côtes, et à ces créations et destructions successives, nous nous rendrons facilement raison de ce mélange de débris dans les mêmes assises, ou de leur succession en couches alternatives. En effet, nous voyons tous les jours les fleuves charrier des coquilles d'eau douce, ainsi que des débris de mammifères que les pluies entraînent; nous voyons flotter à leur surface des arbres tout entiers, que les inondations ont déracinés, et tous ces débris vont s'engloutir sous des couches de vase et de gravier. Les courans marins peuvent de leur côté amener au milieu de ces détritus des continens, les dépouilles de leurs nombreux mollusques, et alors s'expliquent tout naturellement ces réunions extraordinaires d'êtres qui ont vécu dans des lieux si différens. A l'époque des crues périodiques des grands fleuves, on sait que leurs eaux luttent avec avantage contre celles de l'Océan; elles accroissent leur delta, en y déposant de nouvelles couches de vase, tandis que, dans les basses eaux, les flots de la marée remontent leurs cours, et doivent nécessairement charrier des débris d'animaux marins, qui plus tard alterneront avec les autres. Or, puisqu'il est bien reconnu qu'une partie de nos continens actuels ont été créés sous les eaux de la mer, et qu'ils ont ensuite été émergés par des causes particulières, il faut bien admettre que les points où de grands fleuves venaient verser leurs eaux

dans cet ancien océan, peuvent avoir été soulevés comme le sol, qui était entièrement inondé. En sorte que les causes actuelles, que nous voyons agir sans cesse, nous donnent une idée très-juste d'actions plus puissantes, mais analogues, qui ont modifié la surface de la terre.

FIN DU PREMIER VOLUME.

CLERMONT-FERRAND, IMPRIMERIE DE PEROL.

